

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-368335

(43)Date of publication of application : 20.12.2002

(51)Int.Cl.

H01S 5/20  
G11B 7/125

(21)Application number : 2001-169279

(71)Applicant : RICOH CO LTD

(22)Date of filing : 05.06.2001

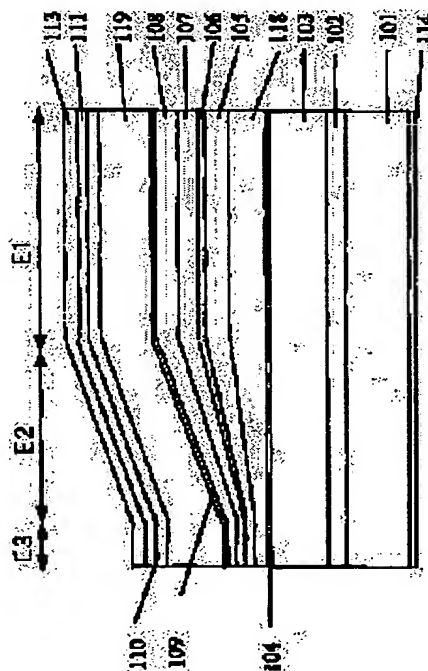
(72)Inventor : JIKUTANI NAOTO

(54) SEMICONDUCTOR LASER ELEMENT, ITS MANUFACTURING METHOD, SEMICONDUCTOR LASER ARRAY, OPTICAL COMMUNICATION SYSTEM, OPTICAL INTERCONNECTION SYSTEM, OPTICAL PICKUP SYSTEM, AND ELECTROPHOTOGRAPHIC SYSTEM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a semiconductor laser element that has a small oscillation threshold current and a high characteristic temperature and radiates a high-quality laser beam having a circular form.

SOLUTION: This edge emitting type semiconductor laser element has an  $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})\text{In}_y\text{As}_{1-y}\text{P}_{1-z}$  clad layer (wherein,  $0 \leq x \leq 1$ ,  $0.5 < y \leq 1$ , and  $0 \leq z < 1$ ) which has a lattice constant between those of GaAs and GaP, a stripe- or tapered stripe-like  $\text{Ga}_y\text{In}_{1-y}\text{As}_z\text{P}_{1-z}$  active layer (wherein,  $0 < y \leq 1$  and  $0 \leq z < 1$ ) which is extended perpendicularly to the end face of a resonator, and an optical waveguide layer. This laser element also has a spot-size converting region E2 in the end face section of the resonator.



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-368335

(P2002-368335A)

(43)公開日 平成14年12月20日(2002.12.20)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード(参考)	
H 0 1 S 5/20	6 1 0	H 0 1 S 5/20	6 1 0	5 D 1 1 9
G 1 1 B 7/125		G 1 1 B 7/125	A	5 F 0 7 3

審査請求 未請求 請求項の数11 O L (全 24 頁)

(21)出願番号 特願2001-169279(P2001-169279)

(22)出願日 平成13年6月5日(2001.6.5)

(71)出願人 000006747

株式会社リコー

東京都大田区中馬込1丁目3番6号

(72)発明者 軸谷 直人

東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式

会社リコー内

(74)代理人 100090240

弁理士 植本 雅治

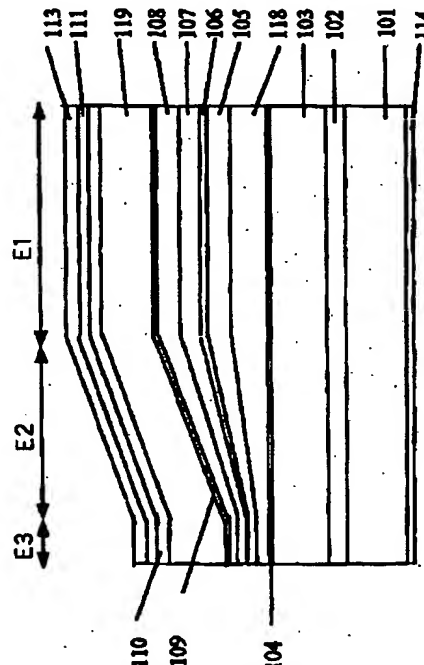
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 半導体レーザ素子およびその作製方法および半導体レーザアレイおよび光通信システムおよび光インターコネクションシステムおよび光ピックアップシステムおよび電子写真システム

(57)【要約】

【課題】 発振閾値電流が小さく、高い特性温度をもち、ビーム品質が良く、放射ビーム形状が真円に近い半導体レーザ素子を提供する。

【解決手段】  $GaAs$ と $GaP$ との間の格子定数を有する $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}As_zP_{1-z}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0.5 < y \leq 1$ ,  $0 \leq z < 1$ ) クラッド層と、共振器端面に対して垂直方向に伸びるストライプ状またはテーパストライプ状の $Ga_{1-y_2}In_{y_2}As_{z_2}P_{1-z_2}$  ( $0 < y_2 \leq 1$ ,  $0 \leq z_2 < 1$ ) 活性層と、光導波層とを有する端面発光型半導体レーザ素子であって、共振器端面部にスポットサイズ変換領域E2が設けられている。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】  $\text{GaAs}$  と  $\text{GaP}$  との間の格子定数を有する  $(\text{Al}_{x1}\text{Ga}_{1-x1})_{y1}\text{In}_{1-y1}\text{As}_{z1}\text{P}_{1-z1}$  ( $0 \leq x1 \leq 1$ ,  $0.5 < y1 \leq 1$ ,  $0 \leq z1 < 1$ ) クラッド層と、共振器端面に対して垂直方向に伸びるストライプ状またはテーパストライプ状の  $\text{Ga}_{y2}\text{In}_{1-y2}\text{As}_{z2}\text{P}_{1-z2}$  ( $0 < y2 \leq 1$ ,  $0 \leq z2 < 1$ ) 活性層と、光導波層とを有する端面発光型半導体レーザ素子であって、共振器端面部にスポットサイズ変換領域が設けられていることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項 2】 請求項 1 記載の半導体レーザ素子において、前記光導波層は、活性層の材料よりも禁則帯幅の広い  $\text{Ga}_{y3}\text{In}_{1-y3}\text{As}_{z3}\text{P}_{1-z3}$  ( $0 < y3 \leq 1$ ,  $0 \leq z3 < 1$ ) 混晶半導体で形成されていることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項 3】 請求項 1 または請求項 2 記載の半導体レーザ素子において、スポットサイズ変換領域は、少なくとも光導波層の厚さをストライプ状共振領域から共振器端面部に向かって薄くすることで形成されていることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項 4】 請求項 1 乃至請求項 3 のいずれか一項に記載の半導体レーザ素子において、活性層は、単一量子井戸構造または多重量子井戸構造であり、さらに、スポットサイズ変換領域上の一部の半導体コンタクト層および電極が除去されていることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項 5】 請求項 1 乃至請求項 4 のいずれか一項に記載の半導体レーザ素子において、活性層は、スポットサイズ変換領域以外では自然超格子構造として形成され、スポットサイズ変換領域では自然超格子構造が選択的に無秩序化されたものとなっており、さらに、スポットサイズ変換領域上の一部の半導体コンタクト層および電極が除去されていることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項 6】  $\text{GaAs}$  と  $\text{GaP}$  との間の格子定数を有する  $(\text{Al}_{x1}\text{Ga}_{1-x1})_{y1}\text{In}_{1-y1}\text{As}_{z1}\text{P}_{1-z1}$  ( $0 \leq x1 \leq 1$ ,  $0.5 < y1 \leq 1$ ,  $0 \leq z1 < 1$ ) クラッド層と、共振器端面に対して垂直方向に伸びるストライプ状またはテーパストライプ状の  $\text{Ga}_{y2}\text{In}_{1-y2}\text{As}_{z2}\text{P}_{1-z2}$  ( $0 < y2 \leq 1$ ,  $0 \leq z2 < 1$ ) 活性層と、光導波層とを有し、共振器端面部にスポットサイズ変換領域が設けられている端面発光型半導体レーザ素子の作製方法であって、誘電体マスクを用いた選択成長法によって、前記クラッド層、光導波層および活性層からなる導波路構造の結晶成長を行なうことを特徴とする半導体レーザ素子の作製方法。

【請求項 7】 請求項 1 乃至請求項 5 のいずれか一項に記載の半導体レーザ素子を複数個有し、複数個の半導体レーザ素子がモノリシックに形成されていることを特徴とする半導体レーザアレイ。

【請求項 8】 請求項 1 乃至請求項 5 のいずれか一項に記載の半導体レーザ素子、または、請求項 7 記載の半導体レーザアレイが光源として用いられることを特徴とする光通信システム。

【請求項 9】 請求項 1 乃至請求項 5 のいずれか一項に記載の半導体レーザ素子、または、請求項 7 記載の半導体レーザアレイが光源として用いられることを特徴とする光インターコネクションシステム。

【請求項 10】 請求項 1 乃至請求項 5 のいずれか一項に記載の半導体レーザ素子、または、請求項 7 記載の半導体レーザアレイが光源として用いられることを特徴とする光ビックアップシステム。

【請求項 11】 請求項 1 乃至請求項 5 のいずれか一項に記載の半導体レーザ素子、または、請求項 7 記載の半導体レーザアレイが光源として用いられることを特徴とする電子写真システム。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、半導体レーザ素子およびその作製方法および半導体レーザアレイおよび光通信システムおよび光インターコネクションシステムおよび光ビックアップシステムおよび電子写真システムに関する。

## 【0002】

【従来の技術】 従来、光ビックアップシステム、光通信システム、電子写真システムの光源として、 $\text{AlGaInP}$  半導体材料による 650nm 帯半導体レーザ素子が用いられている。例えば文献「第 45 回応用物理学関係連合講演予稿集 No. 3 29a-ZH-2」(以下、第 1 の従来技術という) には、光ディスクビックアップ用光源として  $\text{AlGaInP}$  混晶材料による屈折率導波型 650nm 帯レーザが示されている。これらの用途に用いられる半導体レーザ素子には、発振閾値電流が低いこと、更に、素子の特性温度が高いことが求められている。

【0003】 また、この他にも、半導体レーザは、レーザビームとレンズ、ファイバとの結合が容易であることも重要である。通常、半導体レーザから放射されるレーザビームは水平放射角に比べ、垂直放射角の方が大きい。例えば、上記第 1 の従来技術の半導体レーザ素子の垂直放射角は  $30^\circ$  であり、水平方向放射角は  $9^\circ$  である。これは、光導波領域での垂直方向の光分布が水平方向に比べて狭いことに起因するものであり、レンズまたはファイバと結合させるためにビーム成形が必要になる。

【0004】 特に、通信用長波長レーザ素子では、レーザ光をシングルモードファイバと良好に結合させる必要があることから、スポットサイズ変換領域を備えた素子が提案されている。ここで、スポットサイズ変換領域とは、例えば、共振器端面部に向けて光導波層の厚さを

次第に薄くなるように構成した領域のことであって、共振器端面部では光導波層から光の漏れが大きくなることで垂直放射角が狭まり、真円に近い放射パターンが得られる。勿論、赤色レーザ素子でも、ビームの利用効率、レンズまたはファイバとの結合効率を向上させるために、スポットサイズは真円に近いことが望ましい。

【0005】例えば、特開平7-283490号（以下、第2の従来技術という）には、スポットサイズ変換領域を備えたInP基板上の長波長半導体レーザ素子についての技術が示されている。図1、図2、図3は第2の従来技術の半導体レーザ素子を示す図である。なお、図1は上面図、また、図2は図1のA-A'線における断面図、また、図3は図1のB-B'線における断面図である。

【0006】図1乃至図3において、符号1はn-InP基板、符号2はn-InPクラッド層、符号3はInGaAsP光導波層、符号4はInGaAsP多重量子井戸活性層、符号5はInGaAsP光導波層、符号6はp-InPクラッド層、符号7はコンタクト層、符号8はp側電極、符号9はn側電極、符号10は絶縁層、符号11はp-InP埋め込み層、符号12はn-InP埋め込み層である。

【0007】図1乃至図3の半導体レーザ素子は、次のように作製される。すなわち、n-InP基板1上にn-InPクラッド層2を成長した後、図4に示すようにSiO<sub>2</sub>マスク13を設け、図5のようにInPクラッド層2上に多重量子井戸構造を含むInGaAsPから成るSCH構造（InGaAsP光導波層3、InGaAsP多重量子井戸活性層4、InGaAsP光導波層5）を選択成長する。ここで、図5は選択成長後の図4のB-B'線に対応する断面を示す図である。この際、図2のように、マスク13の開口幅の広い領域は、膜厚が薄く成長される（これがスポットサイズ変換領域となる）。

【0008】次に、図6のようにSiO<sub>2</sub>マスク14を設け、これをエッチングマスクとして、リッジストライプを形成し、更にSiO<sub>2</sub>マスク14を選択成長マスクとしてエッチング部分にInP層11、12の埋め込み成長を行っている。なお、図6は埋め込み成長後の図4のB-B'線に対応する断面を示したものである。次に、p-InPクラッド層6、コンタクト層7、絶縁層10、電極8、9を設け、図1乃至図3に示す素子構造が得られる。

【0009】この第2の従来技術では、長波長レーザにおいて、水平放射角8°、垂直放射角11.8°を得ている。また、AlGaInPクラッド層とGaInP活性層からなる多重量子井戸構造を有する赤色レーザへの応用についても一部記述がなされており、スポットサイズ変換領域を備えたAlGaInP系材料の赤色レーザ素子の従来技術に挙げられる。

【0010】第2の従来技術のスポットサイズ変換領域を備えた半導体レーザ素子では、素子の低閾値電流を与える構造と、素子のスポットサイズを真円に近づける構造とを、別に設計できる利点がある。従来、放射角を狭くするためには光閉じ込め係数を小さくしてビームスポットを大きくする必要があり、閾値電流が増加してしまっていたが、スポットサイズ変換領域を備えることによって改善できる。

【0011】また、上述の特性温度に関する問題に対しては、例えば特開平4-114486号（以下、第3の従来技術という）に示されているように、多重量子障壁等による改善が試みられている。AlGaInP半導体材料は、活性層とクラッド層との禁則帯幅の差が少なく、電子に対するポテンシャルバリアが低いことから、電子がpクラッド層へオーバーフローし易く、素子の特性温度が低い。従って、特性温度を向上させるためには、禁則帯幅の広いクラッド層を用いることが有効である。上記第3の従来技術では、多重量子障壁によって実効的な電子のポテンシャルバリアを高くすることが提案されている。

【0012】また、特開平5-41560号（以下、第4の従来技術という）には、600nm以下の短波長で発振する素子を得るために、GaAsとGaPとの間の格子定数を有する半導体レーザ素子が示されている。すなわち、この第4の従来技術は、AlGaInP混晶の格子定数の減少に伴う禁則帯幅の増加に着眼したものであって、活性層材料に禁則帯幅の大きな混晶を用いて600nm帯以下でのレーザ発振を得ている。この格子定数の範囲では、従来のGaAs基板上の素子に比べて禁則帯幅の広いクラッド層を得ることが可能である。このクラッド層を用いた赤色レーザ素子では特性温度の向上が期待できるものと考えられる。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】以上のように、スポットサイズ変換領域を有する素子では、ビーム品質が良く、低閾値電流化に対して効果がある。また、より屈折率の低いクラッド層材料を用いれば、大きな光閉じ込め係数が得られ、更に低閾値電流化が可能となる。例えば、GaAs基板に格子整合する中で、Al<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>AsP混晶材料が最も屈折率が小さい。Al<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>AsPをクラッド層とし、また、(Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>)<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>AsPを光導波層、発振波長650nmの厚さ15nmの活性層とした素子で得られる光閉じ込め係数は、0.058程度である。これは、同じ光導波層組成、活性層組成と同じ厚さを持つGaAs基板上の素子の取り得る最大値となる。このように取り得る光閉じ込め係数の最大値は、最終的には材料の屈折率によって決まるものである。スポットサイズ変換領域を有する素子は、ビーム品質に関係無く、低屈折率材料をクラッド層に用いることができるという点の特徴であるが、従来の赤色レーザ素子

は、GaAs基板上に作製されているために、必ずしも低閾値化に対し望ましい混晶材料をクラッド層に用いることができなかった。

【0014】また、第4の従来技術の素子では、特性温度対象としている波長帯が600nmよりも短波長であることから、活性層、光導波層の材料の検討が必要であり、この第4の従来技術をそのまま赤色レーザ素子に応用することはできない。また、この第4の従来技術は短波長化に主眼をおいているものであって、材料の光学的特性、素子のビーム品質等については何ら考慮されていない。これを実際に赤色レーザ素子に応用した場合には後述するように垂直放射角が非常に大きくなる等のビーム品質上の問題がある。

【0015】このように、従来では、光ピックアップヘッド、光通信システム、電子写真システムなどの光源として好適な半導体レーザ素子を得ることは非常に難しいという問題があった。

【0016】本発明は、発振閾値電流が小さく、高い特性温度をもち、ビーム品質が良く、放射ビーム形状が真円に近い半導体レーザ素子およびその作製方法および半導体レーザアレイおよび光通信システムおよび光インターコネクションシステムおよび光ピックアップシステムおよび電子写真システムを提供することを目的としている。

【0017】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、請求項1記載の発明は、GaAsとGaPとの間の格子定数を有する $(Al_xGa_{1-x})_nIn_{1-y}As_zP_{1-z}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0.5 < y \leq 1$ ,  $0 \leq z < 1$ ) クラッド層と、共振器端面に対して垂直方向に伸びるストライプ状またはテーパーストライプ状の $Ga_{1-y}In_{1-y}As_zP_{1-z}$  ( $0 < y \leq 1$ ,  $0 \leq z < 1$ ) 活性層と、光導波層とを有する端面発光型半導体レーザ素子であって、共振器端面部にスポットサイズ変換領域が設けられていることを特徴としている。

【0018】また、請求項2記載の発明は、請求項1記載の半導体レーザ素子において、前記光導波層は、活性層の材料よりも禁則帯幅の広い $Ga_{1-y}In_{1-y}As_zP_{1-z}$  ( $0 < y \leq 1$ ,  $0 \leq z < 1$ ) 混晶半導体で形成されていることを特徴としている。

【0019】また、請求項3記載の発明は、請求項1または請求項2記載の半導体レーザ素子において、スポットサイズ変換領域は、少なくとも光導波層の厚さをストライプ状発振領域から共振器端面部に向かって薄くすることで形成されていることを特徴としている。

【0020】また、請求項4記載の発明は、請求項1乃至請求項3のいずれか一項に記載の半導体レーザ素子において、活性層は、単一量子井戸構造または多重量子井戸構造であり、さらに、スポットサイズ変換領域上の一部の半導体コンタクト層および電極が除去されているこ

とを特徴としている。

【0021】また、請求項5記載の発明は、請求項1乃至請求項4のいずれか一項に記載の半導体レーザ素子において、活性層は、スポットサイズ変換領域以外では自然超格子構造として形成され、スポットサイズ変換領域では自然超格子構造が選択的に無秩序化されたものとなっており、さらに、スポットサイズ変換領域上の一部の半導体コンタクト層および電極が除去されていることを特徴としている。

【0022】また、請求項6記載の発明は、GaAsとGaPとの間の格子定数を有する $(Al_xGa_{1-x})_nIn_{1-y}As_zP_{1-z}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0.5 < y \leq 1$ ,  $0 \leq z < 1$ ) クラッド層と、共振器端面に対して垂直方向に伸びるストライプ状またはテーパーストライプ状の $Ga_{1-y}In_{1-y}As_zP_{1-z}$  ( $0 < y \leq 1$ ,  $0 \leq z < 1$ ) 活性層と、光導波層とを有し、共振器端面部にスポットサイズ変換領域が設けられている端面発光型半導体レーザ素子の作製方法であって、誘電体マスクを用いた選択成長法によって、前記クラッド層、光導波層および活性層からなる導波路構造の結晶成長を行なうことを特徴としている。

【0023】また、請求項7記載の発明は、請求項1乃至請求項5のいずれか一項に記載の半導体レーザ素子を複数個有し、複数個の半導体レーザ素子がモノリシックに形成されていることを特徴としている。

【0024】また、請求項8記載の発明は、請求項1乃至請求項5のいずれか一項に記載の半導体レーザ素子、または、請求項7記載の半導体レーザアレイが光源として用いられることを特徴としている。

【0025】また、請求項9記載の発明は、請求項1乃至請求項5のいずれか一項に記載の半導体レーザ素子、または、請求項7記載の半導体レーザアレイが光源として用いられることを特徴としている。

【0026】また、請求項10記載の発明は、請求項1乃至請求項5のいずれか一項に記載の半導体レーザ素子、または、請求項7記載の半導体レーザアレイが光源として用いられることを特徴としている。

【0027】また、請求項11記載の発明は、請求項1乃至請求項5のいずれか一項に記載の半導体レーザ素子、または、請求項7記載の半導体レーザアレイが光源として用いられることを特徴としている。

【0028】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態を図面に基づいて説明する。

【0029】GaAsとGaPとの間の格子定数を有する半導体レーザ素子は、前述のように、クラッド層に禁則帯幅の広いAlGaInP混晶を用いることができることから、特性温度の向上が期待できる。本願の発明者は、高い特性温度を有する半導体レーザ素子(GaAsとGaPとの間の格子定数を有する赤色レーザ素子)を

実現するために、活性層の材料、組成、歪量、成長条件等の検討を重ね、GaAsP基板上に半導体レーザ素子を作製し、評価を行った。また、放射ビーム形状等が赤色半導体レーザの用途に対して適切であるかも合わせて検討を行った。この結果、GaAsP基板上に作製された半導体レーザ素子では、従来の半導体レーザ素子と比べて、特性温度の向上と、大幅な発振閾値電流の減少とが認められた。

【0030】また、GaAs基板から $-1.4\%$ の格子不整度にあたるGaAs<sub>0.98</sub>P<sub>0.02</sub>基板上に作製した、AlInP組成が0.5の(Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>)<sub>1-x</sub>In<sub>1-x</sub>P (y4はGaAs<sub>0.98</sub>P<sub>0.02</sub>基板に格子整合する値) クラッド層、厚さ100nmのGaInP光導波層、厚さ250ÅのGaInP活性層を備えた赤色レーザ素子の垂直放射角は50°と従来と比べて非常に大きいものであった。これらの評価結果を検討したところ、発振閾値電流の低減は、クラッド層の禁則帯幅が増加し、キャリアの閉じ込めが向上することと、クラッド層の屈折率が従来の素子に比べて小さく、更に光導波層との屈折率差が大きいことによって、光閉じ込めが向上するためと分かった。また、垂直放射角の増加は、光閉じ込め係数の増加によって光分布が光導波層に集中するためであることが分かった。

【0031】図7は、GaAs基板に格子整合するAlGaInP (GaAsからの格子不整度 $\epsilon=0\%$ )と、GaAsとGaPとのちょうど中間の格子定数を持つAlGaInP (GaAsからの格子不整度 $\epsilon=-1.7\%$ )のAlInP組成の変化に対する屈折率の見積もり値を示す図である。図7から、格子不整度 $\epsilon=-1.7\%$ にあたるAlGaInPの方が屈折率の絶対値が小さく、屈折率の変化の幅が大きい。

【0032】また、図8は、GaAsの格子定数を持った素子 ( $\epsilon=0\%$ )と、GaAsとGaPの間の格子定数を持った素子 ( $\epsilon=-1.7\%$ )に関して、AlInPをクラッド層、AlInP組成0.5の(Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>)<sub>1-x</sub>In<sub>1-x</sub>P (y4はGaAs<sub>0.98</sub>P<sub>0.02</sub>基板に格子整合する値)を光導波層として、発振波長650nmを有する厚さ15nmの活性層を持つ構造の光閉じ込め係数を見積もった図である。

【0033】図8から、従来のGaAs基板の赤色レーザ素子 ( $\epsilon=0\%$ )に対し、GaAsとGaPとの間の格子定数を有する赤色レーザ素子 ( $\epsilon=-1.7\%$ )では、光閉じ込め係数を大幅に向上できることがわかる。よって発振閾値電流が低減できる。さらに、前述のように禁則対幅の大きなクラッド層が用いられることから、特性温度も向上する。しかしながら、GaAsとGaPとの間の格子定数を有する赤色レーザ素子では、従来の素子に比べて、光導波層に光分布が集中し易く、垂直放射角が非常に大きくなり易いという問題が同時に存在する。

【0034】本発明は、発振閾値電流、ビーム品質、特性温度等の従来の赤色レーザの問題を同時に解決することを意図しており、このため、本発明では、GaAsとGaPとの間の格子定数を持つ赤色レーザ素子において、共振器端面部にスポットサイズ変換領域を設けるようにしたものである。

【0035】ここで、スポットサイズ変換領域とは、共振器端面部における光分布をレーザ発振部に対して相対的に広くする機能を持つ領域であり、スポットサイズ変換領域としては、例えば、光導波層を共振器端面に向けて次第に薄くし、光導波層からの垂直方向の光の漏れを大きくするものや、光導波層内に設けた酸化AlAs等の様な低屈折率層によって共振器端面付近での光分布をクラッド層に押し広げるもの等が挙げられる。

【0036】より詳細に、本発明の半導体レーザ素子は、GaAsとGaPとの間の格子定数を有する(Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>)<sub>1-x</sub>In<sub>1-x</sub>As<sub>z</sub>P<sub>1-z</sub> ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0.5 < y \leq 1$ ,  $0 \leq z < 1$ ) クラッド層と、共振器端面に対して垂直方向に伸びるストライプ状またはテープストライプ状のGa<sub>1-x</sub>In<sub>1-x</sub>As<sub>z</sub>P<sub>1-z</sub> ( $0 < y \leq 1$ ,  $0 \leq z < 1$ ) 活性層と、光導波層とを有する端面発光型半導体レーザ素子であって、共振器端面部にスポットサイズ変換領域が設けられていることを特徴としている。

【0037】GaAsとGaPとの間の格子定数を有するAlGaInAsP材料の中には、従来のGaAs基板上よりも屈折率が小さい組成があり、これを用いたクラッド層によって発振領域において大きな光閉じ込め係数を得ることができる。また、スポットサイズ変換領域によって共振器端面から放射されるビーム形状を真円に近くすることができる。

【0038】すなわち、従来のGaAs基板上の素子と比べ、GaAsとGaP間の格子定数のクラッド層を持った素子では、クラッド層の禁則帯幅が広くキャリア閉じ込めが向上することの他に、クラッド層の屈折率も小さく、発振領域での光閉じ込めも向上する。従って、従来の素子に比べて、発振閾値電流は大幅に低減し、特性温度は向上する。また、スポットサイズ変換領域では、光導波層の厚さや、屈折率等を変化させることによって、光導波層内からの光の漏れを大きくし、共振器端面部に向けて伝播するビームの広がりを大きくする作用を持つ。これによって、共振器端面部における垂直方向のビームスポットは十分に広がり、垂直放射角は水平放射角と同程度となつて、真円に近いレーザビームが得られる。以上から、従来と比べて、発振閾値電流が低く、放射ビーム形状が真円に近い赤色レーザ素子が得られる。また、クラッド層の禁則帯幅は、従来よりも広いため、特性温度も従来の素子に対し高くすることができる。

【0039】このように、半導体レーザ素子上記のような構成とすることによって、GaAsとGaPの間の

格子定数を有するクラッド層を備えた赤色レーザ素子の発振閾値電流を低減し、放射ビーム形状を真円に近くすることができる。

【0040】また、上記本発明の半導体レーザ素子において、光導波層は、活性層の材料よりも禁則帯幅の広い  $\text{Ga}_{1-y}\text{In}_{1-z}\text{As}_z\text{P}_{1-z}$  ( $0 < y \leq 1$ ,  $0 \leq z < 1$ ) 混晶半導体で形成することができる。

【0041】 $\text{GaAs}$ と $\text{GaP}$ との間の格子定数を有する $\text{GaInAsP}$ 材料の中には、650nmの発振波長に対し禁則帯幅が十分広い組成があり、これを用いた光導波層は、 $\text{Al}$ を含まずにキャリア閉じ込め層として機能する。また、 $\text{Al}$ を組成に含まないため、クラッド層との屈折率差が大きく、高い光閉じ込め効率が得られる。これにより、発振閾値電流を更に低減することができる。

【0042】すなわち、 $\text{Al}$ を含まない $\text{GaInAsP}$ 混晶を光導波層とすることで、 $\text{Al}$ を含んだクラッド層との屈折率差を大きくできる。従来の $\text{GaAs}$ 基板上の素子では、活性層材料が $\text{GaInP}$ であるため、光導波層及びキャリア閉じ込め層に $\text{AlGaInP}$ 混晶を用いる必要があった。これに対し、 $\text{GaAs}$ と $\text{GaP}$ との間の格子定数を有する $\text{GaInAsP}$ 材料では、発振の準位間のエネルギーに対して $\text{GaInAsP}$ 混晶の禁則帯幅が十分大きく、これを光閉じ込め層及びキャリア閉じ込め層とした構成が可能となる。

【0043】図9は、 $\text{GaAs}$ と $\text{GaP}$ のちょうど中間の格子定数 ( $\text{GaAs}$ からの格子不整合度  $\epsilon = -1.7\%$ ) を有する素子について、 $\text{AlInP}$ をクラッド層、 $\text{AlInP}$ 組成0.5の $\text{AlGaInP}$ を光導波層とした、波長650nmの厚さ15nmの活性層を持つ構造 ( $\epsilon = -1.7\% \text{A}$ ) と、 $\text{GaAs}$ と $\text{GaP}$ のちょうど中間の格子定数 ( $\text{GaAs}$ からの格子不整合度  $\epsilon = -1.7\%$ ) を有する素子について、 $\text{AlInP}$ をクラッド層、 $\text{GaInP}$ を光導波層とした、波長650nmの厚さ15nmの活性層を持つ構造 ( $\epsilon = -1.7\% \text{B}$ ) と、 $\text{GaAs}$ 基板上 ( $\epsilon = 0\%$ ) で、 $\text{AlInP}$ をクラッド層、 $\text{AlInP}$ 組成0.5の $\text{AlGaInP}$ を光導波層とした構造 ( $\epsilon = 0\%$ ) とについて、活性層への光閉じ込め係数を見積もった結果を示す図である。図9から、 $\text{GaInAsP}$ 光導波層を用いれば、発振領域において大きな光閉じ込め係数が得られ、非常に効率良く発振閾値電流を低減することができることがわかる。また、 $\text{Al}$ フリー活性領域を形成するので、素子信頼性は高い。

【0044】このように、本発明の半導体レーザ素子において、光導波層を、活性層の材料よりも禁則帯幅の広い  $\text{Ga}_{1-y}\text{In}_{1-z}\text{As}_z\text{P}_{1-z}$  ( $0 < y \leq 1$ ,  $0 \leq z < 1$ ) 混晶半導体で形成することにより、発振閾値電流をさらに低減することができる。

【0045】また、上記本発明の半導体レーザ素子にお

いて、スポットサイズ変換領域は、少なくとも光導波層の厚さをストライプ状発振領域から共振器端面部に向かって薄くすることで形成することができる。

【0046】垂直放射角を狭くするためには、スポットサイズ変換領域などによって、共振器端面部における光分布を発振領域に対して水平方向と同程度に広くする必要がある。光分布は、活性層および光導波層とクラッド層との屈折率差、光導波層の厚さによって決まるものであり、前記のように光分布を広くするためには、光導波層の厚さを薄くするか、光導波層中に屈折率の低い調整層を設けて光分布をクラッド層側に押し広げる方法が挙げられる。実際には、後者の方法では、格子整合して用いることのできる材料 (屈折率) が限られることや、光分布が調整層に対してあまり敏感でないことなどから、効率の高いスポットサイズ変換が難しい。これに対し、光導波層の厚さを調整する場合には、光分布は光導波層の厚さに対して非常に敏感に変化する。光導波層の厚さを薄くすると、光閉じ込め能力が低下し、光分布が広くクラッド層中にまで広がり、共振器端面でのスポットサイズが大きくなる。これによって、放射されるビームの垂直放射角は狭くなる。すなわち、光導波層の厚さを薄くすることによって、光導波層の光閉じ込め能力が低下し、共振器端面では光がクラッド層中にまで広く分布する。これによって、共振器端面のスポットサイズは広がり、放射されるビームの垂直放射角が狭くなる。また、光導波層の厚さを面内で緩やかに変化させることが比較的容易であるので、スポットサイズ変換領域での反射散乱損失が低く、効率の高いスポットサイズ変換をすることができる。従って、本発明の半導体レーザ素子において、スポットサイズ変換領域は、少なくとも光導波層の厚さをストライプ状発振領域から共振器端面部に向かって薄くすることで形成することによって、スポットサイズ変換効率の高い半導体レーザ素子が容易に得られる。

【0047】また、上記本発明の半導体レーザ素子において、活性層を、単一量子井戸構造または多重量子井戸構造のものにし、さらに、スポットサイズ変換領域上の一部の半導体コンタクト層および電極を除去したものにすることができる。

【0048】スポットサイズ変換領域では光閉じ込め係数が小さく、レーザ発振の効率が低いために、この領域への電流注入は本来好ましくない。しかし、スポットサイズ変換領域上の電極を除去し、スポットサイズ変換領域に電流を注入しない場合には、活性層での吸収により導波損失が生じる。これに対し、活性領域を量子井戸構造とすることで、スポットサイズ変換領域部の発振準位間のエネルギーを量子サイズ効果によって大きくし、スポットサイズ変換領域での発振光の吸収を低減することができる。従って、スポットサイズ変換領域に電流注入を行って発振光に対して透明とする必要が無くなるので、素子の動作電流を低減することができる。



【0049】このように、活性層を、単一量子井戸構造または多重量子井戸構造とし、さらに、スポットサイズ変換領域上の一部の半導体コンタクト層および電極を除去することによって、スポットサイズ変換領域での光吸収を低減し、素子の動作電流を低減させることができる。

【0050】また、上記本発明の半導体レーザ素子において、活性層を、スポットサイズ変換領域以外では自然超格子構造として形成し、スポットサイズ変換領域では自然超格子構造が選択的に無秩序化されたものにし、さらに、スポットサイズ変換領域上の一部の半導体コンタクト層および電極を除去したものにすることができる。

【0051】すなわち、MOCVD法では、活性領域の成長を、成長温度、 $V/III$ 比、成長レート等の調整によって  $GaInAsP$  半導体混晶が秩序化し、自然超格子を形成しやすい結晶成長条件で行なうことができる。このように自然超格子を形成することにより、活性領域の禁則帯幅は自然超格子を形成しない場合に比べて狭くなる。この後、 $Zn$ 等の不純物拡散によりスポットサイズ変換領域の活性層を選択的に無秩序化すると、無秩序化領域の禁則帯幅が広くなり、スポットサイズ変換領域での発振光の吸収が起こらない。

【0052】活性層を、スポットサイズ変換領域以外では自然超格子構造として形成し、スポットサイズ変換領域では自然超格子構造が選択的に無秩序化されたものとし、さらに、スポットサイズ変換領域上の一部の半導体コンタクト層および電極を除去したものにすることは、活性層が厚く、スポットサイズ変換領域での量子サイズ効果が顕著に現れない領域の幅が広い場合に有効である。混晶化された領域では電流注入を行い発振光に対して透明とする必要が無くなるので、素子の動作電流を低減することができる。

【0053】このように、活性層を、スポットサイズ変換領域以外では自然超格子構造として形成し、スポットサイズ変換領域では自然超格子構造が選択的に無秩序化されたものとし、さらに、スポットサイズ変換領域上の一部の半導体コンタクト層および電極を除去したものにすることによって、スポットサイズ変換領域での光吸収を低減し、動作電流を低減させることができる。

【0054】上述した本発明の半導体レーザ素子（すなわち、 $GaAs$ と $GaP$ との間の格子定数を有する  $(Al_{1-x}Ga_x)_{1-y}In_{1-y}As_zP_{1-z}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0.5 < y \leq 1$ ,  $0 \leq z < 1$ ) クラッド層と、共振器端面に対して垂直方向に伸びるストライプ状またはテーバーストライプ状の  $GaIn_{1-y}As_zP_{1-z}$  ( $0 < y \leq 1$ ,  $0 \leq z < 1$ ) 活性層と、光導波層とを有し、共振器端面部にスポットサイズ変換領域が設けられている端面発光型半導体レーザ素子）は、誘電体マスクを用いた選択成長法により、クラッド層、光導波層および活性層からなる導波路構造の結晶成長を行な

うことによって作製される。

【0055】この作製方法では、誘電体マスクの開口幅によって、選択成長領域の成長膜厚を制御することができる。このように、誘電体マスクの開口幅によって選択成長される領域の膜厚を制御することができるので、本発明の半導体レーザ素子を作製する工程を簡便にすることができる。  $AlGaInP$  材料の選択成長は拡散長の短い  $Al$  を組成に含んでいることから、長波長レーザ材料である  $InGaAsP$  系半導体材料に比べて難しく、良好に選択成長ができる成長条件の幅が狭いが、成長温度、 $V/III$ 比、成長レート等を適切に選ぶことによって、選択成長を行うことは可能である。この作製方法によれば、本発明の半導体レーザ素子の製造過程を非常に簡便にすることができる。また、特に、光導波層が、活性層の材料よりも禁則帯幅の広い  $Ga_{1-y}In_yAs_zP_{1-z}$  ( $0 < y \leq 1$ ,  $0 \leq z < 1$ ) 混晶半導体で形成されている場合には、選択成長を行う導波領域部分が  $Al$  元素を含まないことから、選択成長が非常に容易であり、素子の製造を大幅に容易にすることができる。

【0056】また、上述した本発明の半導体レーザ素子によって、モノリシックレーザアレイ（半導体レーザアレイ）を構成することができる。

【0057】この場合、この半導体レーザアレイによれば、発振閾値電流が低く、真円に近いレーザビーム形状を有したビーム品質の高いマルチビーム光源が得られる。また、従来、半導体レーザアレイのように集積化された素子では、簡単な光学部品によってレンズ、光ファイバ等との結合を行うことが容易ではなかったが、本発明の半導体レーザアレイでは、ビーム形状が真円に近いことから、高効率にかつ容易に結合が行え、光学部品の構成を簡単なものにすることができる。

【0058】また、上述した本発明の半導体レーザ素子によって多波長モノリシックレーザアレイを構成することができる。

【0059】この場合、この多波長モノリシックレーザアレイによれば、発振閾値電流が低く、真円に近いレーザビーム形状を有したビーム品質の高いマルチビーム光源が得られる。また、簡単な光学部品によってレンズ、光ファイバ等と高効率に結合が行える。また、発振波長が多波長であることから、波長多重通信光源等に应用することができる。

【0060】また、上述した本発明の半導体レーザ素子、または、上述した本発明の半導体レーザアレイが光源として用いられる光通信システム、光インターコネクションシステムを構築することができる。

【0061】この場合、光ファイバとの結合効率が高く、消費電力の小さい光通信システム、光インターコネクションシステムを提供することが可能となる。すなわち、上述した本発明の半導体レーザ素子、または、上述した本発明の半導体レーザアレイが光源として用いられ



る光通信システム、光インターコネクションシステムでは、半導体レーザ素子の発振閾値電流が低いことから、光通信システム、光インターコネクションシステムにおける消費電力を小さくすることができる。また、ビーム形状が真円に近いことから、ファイバとの結合が容易で、またビームの利用効率が非常に高く、これによる電力損失を低減することもできる。また、発振閾値電流が小さいことから、素子の発熱は小さく、熱干渉による影響が少ない信頼性の高い光通信システム、光インターコネクションシステムを構成できる。また、モノリシックレーザアレイを用いる場合は、並列光通信が可能であり、高速通信システムを得ることができる。また、多波長モノリシックレーザアレイを用いる場合には、各レーザストライプから波長の異なる光を単一のファイバに導いた波長多重通信システムの構成が可能となり、高速通信システムを得ることができる。

【0062】また、上述した本発明の半導体レーザ素子、または、上述した本発明の半導体レーザアレイが光源として用いられる光ピックアップシステムを構築することができる。

【0063】この場合、レンズとの結合効率が高く、消費電力が小さい光ピックアップシステムを提供することが可能となる。すなわち、上述した本発明の半導体レーザ素子、または、上述した本発明の半導体レーザアレイが光源として用いられる光ピックアップシステムでは、真円に近いビーム形状を得られることから、集光レンズとの結合が高く、ビーム整形に必要な光学系を必要としないか、または、非常に簡単なものにできる。従って、部品点数を減らすことができるので、システムのコストは低減し、信頼性は向上する。また、発振閾値電流が小さいこととレーザビームの利用効率が高いことから、高出力動作が可能である。また、多波長レーザアレイを用いる場合には、マルチビームピックアップシステムを構成できるので、上記の効果に加えて、データの記録及び読み出しを高速化することができる。

【0064】また、上述した本発明の半導体レーザ素子、または、上述した本発明の半導体レーザアレイが光源として用いられる電子写真システムを構築することができる。

【0065】この場合、レンズとの結合効率が高く、消費電力が小さい電子写真システムを提供することが可能となる。すなわち、上述した本発明の半導体レーザ素子、または、上述した本発明の半導体レーザアレイが光源として用いられる電子写真システムでは、ビーム形状が真円に近いことから、アパーチャーもしくはレンズによるビーム形成を必要としないか、または、簡単なものにできる。従って、部品点数を減らすことができるので、システムのコストは低減し、信頼性は向上する。また、発振閾値電流が低く、ビームの利用効率が高いことから、消費電力が小さい電子写真システムを得ることが

できる。また、半導体レーザアレイを用いる場合には、マルチビーム書き込みシステムを構成できるので、上記の効果に加えて、書き込み速度を高速化することができる。また、同様に、発振閾値電流が低く、熱干渉の影響が少ないので、レーザストライプ間の距離を短くすることが可能であり、同一のレンズで複数のレーザビームを集光することができる。よって光学系の構成が簡単なマルチビーム書き込みシステムを得ることができる。

【0066】

【実施例】以下、本発明の実施例を図面に基づいて説明する。

#### 【0067】実施例1

図10、図11、図12は本発明の実施例1の半導体レーザ素子を示す図である。なお、図10は平面図、図11は図10のA-A'線における断面図、図12は図10のB-B'線における断面図である。この半導体レーザ素子は実屈折率導波型半導体レーザ素子として構成されている。すなわち、図10、図11、図12を参照すると、n-GaAsP基板101上に、素子部として、n-GaAsPバッファ層102、第1のn-AlGaInPクラッド層103、n-GaAsPエッチング停止層104、第2のn-AlGaInPクラッド層118、アンドープAlGaInP光導波層105、アンドープGaInAsP活性層106、アンドープAlGaInP光導波層107、第1のp-AlGaInPクラッド層108、p-GaAsPエッチング停止層109、第2のp-AlGaInPクラッド層119、p-GaInPヘテロスパイク緩衝層110、p-GaAsPコンタクト層111が順次に積層されている。

【0068】ここで、p-GaAsPコンタクト層111から第2のp-AlGaInPクラッド層119までがリッジストライプとして形成されている。そして、リッジストライプの側面には、SiO<sub>2</sub>絶縁膜112が形成され、その周囲は埋め込み絶縁層115によって埋め込まれている。また、p-GaAsPコンタクト層111上には、p側電極113が形成され、また、基板101の裏面には、n側電極114が形成されている。

【0069】図10、図11、図12の半導体レーザ素子は、n-GaAsP基板101上にMOCVD法により結晶成長を行って作製される。

【0070】ここで、GaAsP基板101には、GaAsとGaPとの中間の格子定数を有するものが用いられ、GaAsからの格子不整合度は-1.7%である。

【0071】また、素子部は、次のように作製される。すなわち、まず、GaAsP基板101上に、n-GaAsPバッファ層102、第1のn-AlGaInPクラッド層103、n-GaAsPエッチング停止層104を順次に結晶成長した後、図13のように、レーザストライプとなる領域に開口を持つSiO<sub>2</sub>選択成長マスク117を形成し、図14に示すように、第2のn-

AlGaInPクラッド層118, AlGaInP光導波層105, GaInAsP活性層106, AlGaInP光導波層107, 第1のp-AlGaInPクラッド層108, p-GaAsPエッチング停止層109の選択成長を行なう。なお、図14は図13のB-B'線における断面図である。また、この例では、活性層106には、発振波長が650nmとなる圧縮歪組成のGaInAsPを用いている。また、活性層106の厚さは300Åとしている。活性層106の組成にAsを加えることで、650nm帯への長波長化が容易になっている。この例では、発振波長を650nmに調整したが、635nm帯等の他の波長であっても良い。

【0072】図10, 図11, 図12の素子では、図13に示すマスク117の開口幅の違いによって、成長される膜厚が変化し、図11に示すように、レーザ発振領域E1、スポットサイズ変換領域E2、スポットサイズ変換後導波領域（共振器端面部）E3が形成される。

【0073】この実施例1では、マスク117の開口幅は、後工程で形成されるリッジ幅に比べ広くしている。また、領域E1及びE2のレーザストライプ方向の長さを400μm、領域E3の長さを50μmとしている。また、領域E1の開口幅を20μmとしている。マスク117の開口幅は、領域E1とE3の膜厚比が7:1以上になるように選ぶことが望ましい。

【0074】Alを構成元素に含む半導体材料の選択成長は、選択成長マスク上でのAlの拡散長さがGaやIn等と比べて短いために良質に結晶成長できる条件の幅が狭いことが知られているが、成長温度、V/III比、成長レート等の条件を適切に選ぶことで、選択成長マスク上に、単結晶または多結晶等が成長しないように制御することができる。

【0075】また、第1のn-AlGaInPクラッド層103は、領域E2、E3でレーザ光の垂直方向分布が非対称になるのを防ぐために設けられている。GaInP基板を用いる場合は、基板による650nm帯の光吸収は無いが、GaAs<sub>0.6</sub>P<sub>0.4</sub>よりGaAs組成の大きなGaAsP基板では、光吸収を生じるので、第1のn-AlGaInPクラッド層103は、十分な厚さに設けておくことが望ましい。

【0076】次に、選択成長マスク117を除去し、素子全面に対して、第2のp-AlGaInAsPクラッド層119, p-GaInPヘテロスパイク緩衝層110, p-GaAsPコンタクト層111の成長を行なう。第2のp-AlGaInAsPクラッド層119も、領域E2及びE3でのビーム形状の対称性と、コンタクト層111での吸収損失とを考慮して、選択成長後に成長し厚く設けている。

【0077】次に、図15に示すように、レーザストライプとなる領域にレジストマスク120を設け、コンタクト層111からGaAsPエッチング停止層109ま

たは104までの各層を化学エッチングによって除去し、5μm幅のリッジストライプを形成する。この際、エッチングによって生じる表面準位によって発光効率が低下するのを防止するためにエッチングストップ層109を設け、第2のp-AlGaInAsPクラッド層119までをエッチングした。選択成長領域の側面と電流注入領域との間の距離は十分あり、表面準位の影響は無い。

【0078】次に、素子全面にSiO<sub>2</sub>絶縁層112を設け、リッジ上部のSiO<sub>2</sub>絶縁層112を除去し、次いで、ポリイミド等の絶縁層115でリッジを埋め込み、コンタクト層111上にp側オーミック電極113を形成する。次に、基板101の裏面にn側オーミック電極114を形成する。次に、へき開により、図10, 図11, 図12の半導体レーザ素子を作製することができる。

【0079】このようにして作製された図10, 図11, 図12の半導体レーザ素子は、閾値電流が従来のGaAs基板上の半導体レーザ素子に比べて低く、垂直放射角が11°, 水平放射角が10°とビーム形状は非常に円に近いものであった。

#### 【0080】実施例2

図16, 図17, 図18は本発明の実施例2の半導体レーザ素子を示す図である。なお、図16は平面図、図17は図16のA-A'線における断面図、図18は図16のB-B'線における断面図である。この半導体レーザ素子は、実施例1と同様に実用屈折率導波型半導体レーザ素子として構成されているが、実施例1と構造を異にしている。すなわち、図16, 図17, 図18を参照すると、n-GaAsP基板201上に、素子部として、n-GaAsPバッファ層202, 第1のn-AlGaInPクラッド層203, n-GaAsPエッチング停止層204, 第2のn-AlGaInPクラッド層218, アンダーブGaN光導波層205, アンダーブGaInAsP活性層206, アンダーブGaInP光導波層207, 第1のp-AlGaInPクラッド層208, 第2のp-AlGaInPクラッド層219, p-GaInPヘテロスパイク緩衝層210, p-GaAsPコンタクト層211が順次に積層されている。

【0081】ここで、第1のp-AlGaInPクラッド層208から第2のn-AlGaInPクラッド層218までがリッジストライプ（電流狭窄構造）として形成されている。そして、リッジストライプ（電流狭窄構造）の側面は、p-AlInP埋め込み層215, n-AlInP埋め込み層216によって埋め込まれている。また、p-GaAsPコンタクト層211上には、p側電極213が形成され、また、基板201の裏面には、n側電極214が形成されている。

【0082】図16, 図17, 図18の半導体レーザ素子は、n-GaAsP基板201上にMOCVD法によ

り結晶成長を行って作製される。

【0083】ここで、基板201の格子定数は、実施例1と同じく、GaAsとGaPの中間の値を用いている。

【0084】また、素子部は、次のように作製される。すなわち、GaAsP基板201上に、n-GaAsPバッファ層202、第1のn-AlGaInPクラッド層203、n-GaAsPエッチング停止層204を順次に結晶成長した後、図19に示すように、レーザストライプとなる領域に開口を持つSiO<sub>2</sub>選択成長マスク217を形成し、図20に示すように、第2のn-AlGaInPクラッド層218、GaInP光導波層205、GaInAsP活性層206、GaInP光導波層207、第1のp-AlGaInPクラッド層208の選択成長を行なう。なお、図20は図19のB-B'線における断面図である。また、活性層206にはAsを添加した圧縮歪組成を用い、発振波長は650nmに調整した。また、活性層206の厚さは300Åとした。また、基板201に格子整合する組成のGaInP光導波層205、207の禁則帯幅は2.23eVと発振波長に対して広く、キャリア閉じ込め層として十分機能するものである。

【0085】また、この実施例2では、第2のn-AlGaInPクラッド層218から選択成長を開始しているが、GaInP光導波層205からGaInAsP活性層206、GaInP光導波層207までを選択成長層としても良い。この場合は、選択成長層にAl元素が含まれないので、選択成長マスク上への多結晶の成長が起こりにくく、選択成長が容易となる。

【0086】次に、選択成長マスク217を除去し、図21に示すように、選択成長領域のレーザストライプとなる領域にSiO<sub>2</sub>マスク220を設け、エッチング停止層204まで化学エッチングを行い5μm幅のリッジストライプを形成する。次に、SiO<sub>2</sub>マスク220を用い、p-AlInP層215を成長し、次にn-AlInP層216を埋め込み選択成長して、電流狭窄構造を形成した。

【0087】この実施例2では、活性領域がAlを含まないことから、酸化等による表面準位が形成されにくいので、第2のn-AlGaInPクラッド層218までエッチングを行った場合でも高い発光効率が得られる。

【0088】次に、SiO<sub>2</sub>マスク220を除去し、第2のp-AlGaInPクラッド層219、GaInPヘテロスパイク緩衝層210、GaAsPコンタクト層211を結晶成長する。次に、コンタクト層211上にp側オーミック電極213を形成する。また、基板201の裏面にn側オーミック電極214を形成する。次に、へき開により、図16、図17、図18の半導体レーザ素子を作製することができる。

【0089】このようにして作製された図16、図17

7、図18の半導体レーザ素子は、光導波層がGaInPであるため、クラッド層との屈折率差が非常に大きく、発振閾値電流も従来の半導体レーザ素子の半分程度であった。また、図16、図17、図18の半導体レーザ素子は、垂直放射角が12°、水平放射角が10°であり、ビーム形状は円に非常に近いものであった。

【0090】上述した実施例1、実施例2ではGaAsP基板を用いたが、この他にも、GaInP基板等を用いることもできる。

【0091】また、実施例1、実施例2では、光導波層などの厚さを変化させてスポットサイズ変換領域E2を設けたが、この他にも、AlAs等を酸化させた低屈折率層を共振器端面近傍の導波路内に設けた構造であっても良い。

#### 【0092】実施例3

図22、図23、図24は本発明の実施例3の半導体レーザ素子を示す図である。なお、図22は平面図、図23は図22のA-A'線における断面図、図24は図22のB-B'線における断面図である。この半導体レーザ素子は、実施例2と同様に実屈折率導波型半導体レーザ素子として構成されているが、実施例3の半導体レーザ素子では、GaAs基板301上にGaAsP格子緩和層317を介して結晶成長が行われている。また、実施例3の半導体レーザ素子では、活性層306は、単一量子井戸構造または多重量子井戸構造であり、さらに、スポットサイズ変換領域E2（および領域E3）上の一部の半導体コンタクト層および電極が除去されていることを特徴としている。

【0093】すなわち、図22、図23、図24を参照すると、実施例3の半導体レーザ素子は、n-GaAs基板301上に、GaAsP格子緩和層317を介して、素子部として、n-GaAsPバッファ層302、第1のn-AlGaInPクラッド層303、n-GaAsPエッチング停止層304、第2のn-AlGaInPクラッド層318、アンドープGaInP光導波層305、アンドープGaInAsP量子井戸活性層306、アンドープGaInP光導波層307、第1のp-AlGaInPクラッド層308、第2のp-AlGaInPクラッド層319、p-GaInPヘテロスパイク緩衝層310、p-GaAsPコンタクト層311が順次に積層されている。

【0094】ここで、第1のp-AlGaInPクラッド層308から第2のn-AlGaInPクラッド層318までがリッジストライプ（電流狭窄構造）として形成されている。そして、リッジストライプ（電流狭窄構造）の側面は、p-AlInP埋め込み層315、n-AlInP埋め込み層316によって埋め込まれている。また、p-GaAsPコンタクト層311上には、p側電極313が形成され、また、基板301の裏面には、n側電極314が形成されている。

【0095】また、実施例3の半導体レーザ素子では、活性層306は、単一量子井戸構造または多重量子井戸構造であり、さらに、スポットサイズ変換領域E2および領域E3上の一部の半導体コンタクト層311および電極313は除去されている。

【0096】図22、図23、図24の半導体レーザ素子は、GaAs基板301上にGaAsP格子緩和層317を介して結晶成長を行なって作製される。ここで、GaAsP格子緩和層317は、組成をGaAsからGaAs<sub>0.95</sub>P<sub>0.05</sub>まで次第に変化させた組成傾斜層として結晶成長がなされ、この組成傾斜層の上部にGaAs<sub>0.95</sub>P<sub>0.05</sub>組成一定層を設けることによって形成されている。GaAsからの格子不整合度は1.4%である。また、組成傾斜層の結晶成長条件を最適化することで、GaAsP格子緩和層317の表面を鏡面にすることができる。

【0097】また、素子部は次のように作製される。すなわち、まず、GaAsP緩和層317上に、n-GaAsPバッファ層302、第1のn-AlGaInPクラッド層303、n-GaAsPエッチング停止層304を順次結晶成長した後、実施例2と全く同様にレーザストライプとなる領域に開口を持つSiO<sub>2</sub>選択成長マスク（図示せず）を形成し、第2のn-AlGaInPクラッド層318、GaInP光導波層305、GaInAsP量子井戸活性層306、GaInP光導波層307、第1のp-AlGaInAsPクラッド層308までの選択成長を行なう。

【0098】ここで、活性層306の発振波長はAs添加による長波長化と量子サイズ効果による短波長化を考慮し、650nmになるように調整を行った。また、量子井戸の厚さは50Åとした。

【0099】次に、実施例2と同様の手順、手法によって、リッジストライプを形成し、AlInP層315、316の埋め込み成長、コンタクト層311までの結晶成長を行なう。次に、領域E2及びE3の一部のコンタクト層311をエッチング除去する。次に、p側電極材料を蒸着し、この領域の電極材料をリフトオフ法によって除去してp側電極313を形成する。次に、基板301の裏面にn側オーミック電極314を形成する。次に、へき開により、図22、図23、図24の半導体レーザ素子を作製することができる。

【0100】このように作製された図22、図23、図24の半導体レーザ素子は、スポットサイズ変換領域E2及び領域E3の薄膜化によって量子井戸活性層306の量子準位間のエネルギーが増加し、領域E2の膜厚が十分薄い部分では発振光に対しての吸収がない。従って、この領域に電流を注入する必要が無く、発振に寄与しない無効電流を大幅に減少させることができる。この際、領域E2の量子準位間のエネルギー増加量が不十分な領域に対しては、図22のように電極313を設けて

おくことが望ましい。

【0101】この実施例3の半導体レーザ素子では、実施例1、実施例2の半導体レーザ素子と同様に、発振閾値電流が低く、ビーム形状が真円に近い上に、動作電流を大幅に低減することができる。

#### 【0102】実施例4

図25、図26、図27は本発明の実施例4の半導体レーザ素子を示す図である。図25は平面図、図26は図25のA-A'線における断面図、図27は図25のB-B'線における断面図である。この半導体レーザ素子は、実施例2と同様に実屈折率導波型半導体レーザ素子として構成されているが、実施例4の半導体レーザ素子では、活性層406は、スポットサイズ変換領域E2（および領域E3）以外では自然超格子構造として形成され、スポットサイズ変換領域E2（および領域E3）では自然超格子構造が選択的に無秩序化されたものとなっており、さらに、スポットサイズ変換領域E2（および領域E3）上の一部の半導体コンタクト層および電極が除去されていることを特徴としている。

【0103】すなわち、図25、図26、図27を参照すると、n-GaAsP基板401上に、素子部として、n-GaAsPバッファ層402、第1のn-AlGaInAsPクラッド層403、n-GaAsPエッチング停止層404、第2のn-AlGaInAsPクラッド層418、アンドープGaInP光導波層405、アンドープGaInAsP活性層406、アンドープGaInP光導波層407、第1のp-AlGaInAsPクラッド層408、第2のp-AlGaInAsPクラッド層419、p-GaInPヘテロスパイク緩衝層410、p-GaAsPコンタクト層411が順次に積層されている。

【0104】ここで、第1のp-AlGaInAsPクラッド層408から第2のn-AlGaInAsPクラッド層418までがリッジストライプ（電流狭窄構造）として形成されている。そして、リッジストライプ（電流狭窄構造）の側面は、p-AlInP埋め込み層415、n-AlInP埋め込み層416によって埋め込まれている。また、p-GaAsPコンタクト層411上には、p側電極413が形成され、また、基板401の裏面には、n側電極414が形成されている。

【0105】また、実施例4の半導体レーザ素子では、活性層406は、スポットサイズ変換領域E2（および領域E3）以外では自然超格子構造として形成され、スポットサイズ変換領域E2（および領域E3）では自然超格子構造が選択的に無秩序化されたものとなっており、さらに、スポットサイズ変換領域E2（および領域E3）上の一部の半導体コンタクト層411および電極413が除去されている。

【0106】図25、図26、図27の半導体レーザ素子は、実施例2と同様の方法、手順によって、GaAs

P基板401上に結晶成長を行なうことによって作製される。

【0107】ここで、GaAsP基板401の組成はGaAs<sub>0.98</sub>P<sub>0.02</sub>であり、GaAsからの格子不整合度は1.4%である。

【0108】また、素子部は、次のように作製される。すなわち、GaAsP基板401上に、n-GaAsPバッファ層402、第1のn-AlGaInAsPクラッド層403、n-GaAsPエッチング停止層404を結晶成長した後、実施例2と同様の手順、手法によってSiO<sub>2</sub>選択成長マスク（図示せず）を形成し、第2のn-AlGaInAsPクラッド層418、GaInP光導波層405、GaInAsP活性層406、GaInP光導波層407、第1のp-AlGaInAsPクラッド層408の選択成長を行なう。

【0109】ここで、GaInAsP活性層406の厚さは300Åとした。

【0110】この際、GaInAsP活性層406は、成長温度、V/III比、成長レート等の調整を行い、自然超格子構造が形成され易い条件によって結晶成長を行った。成長法は、MOCVD法を用いた。また、活性層406の組成は自然超格子を形成した状態で発振波長が650nmになるように組成を調整した。次に、領域E2及びE3の自然超格子を無秩序化した。無秩序化の方法としては、例えば、領域E2及びE3に開口を持つSiNxマスクを形成し、次に、Zn拡散源となるZnOをスパッタ法により基板全面に形成した後、アニールによってSiNxマスクで覆われていない領域E2、E3に対しZnを活性層部まで拡散させる方法等が挙げられる。図26において、符号420がZn拡散領域である。

【0111】次に、SiNx、ZnOを除去した後、実施例2と同様にリッジを形成し、AlInP埋め込み層415、416の埋め込み成長を行い、コンタクト層411までの結晶成長を行なう。

【0112】次に、実施例3と同様の手法によって、領域E2、E3のコンタクト層411をエッチング除去し、領域E2、E3以外にp側電極413を形成する。次に、基板401の裏面にn側オーミック電極414を形成する。次に、へき開により、図25、図26、図27の半導体レーザ素子を作製することができる。

【0113】この実施例4のGaAsP基板401には、(001)面から[110]方向への傾斜角度が小さいものを用いた。傾斜角度は2°とした。傾斜角度を小さくすることによっても自然超格子が形成され易くなる。傾斜角度の小さな基板上では丘状欠陥の発生が見られる場合があるが、その場合には、Asを組成に含むAlGaInAsP混晶またはAlInAsP混晶をクラッド層、埋め込み層に用いると、丘状欠陥の発生を効果的に抑制できる。この際のAs組成は1%程度でも十分

な効果が得られ、禁則帯幅、屈折率等への影響は無視できるものである。

【0114】実施例4の半導体レーザ素子は、領域E2及び領域E3の活性層406の自然超格子が無秩序されることによって、活性層406の禁則帯幅が広くなり、発振光の吸収を生じなくなる。このように、実施例4では、発振光に対して透明な領域の形成が量子サイズ効果に依るものでないで、スポットサイズ変換領域部の活性層厚さに関係無く電極413を除去することができる。また、無秩序化領域と電極除去領域は、リソグラフィなどにより高精度に位置決めできる。従って、領域E2の全ての電極413を除去することが可能で、動作電流を更に低減させることができる。実施例4の半導体レーザ素子では、ビーム形状が真円に近く、更に動作電流を大幅に低減することができる。

#### 【0115】実施例5

図28は本発明の実施例5の半導体レーザアレイを示す図である。また、図29は図28の半導体レーザアレイの導波領域の選択成長の際に用いるSiO<sub>2</sub>マスク517の形状を示す図である。なお、図28は作製後の半導体レーザアレイの断面図（図29のB-B'線での断面に対応している図）である。この半導体レーザアレイは、実屈折率導波型半導体レーザアレイとして構成されており、実施例2の半導体レーザ素子を2個、モノリシックにアレイ化したものとなっている。

【0116】すなわち、図28を参照すると、この実施例5の半導体レーザアレイは、n-GaAsP基板501上に、素子部として、n-GaAsPバッファ層502、第1のn-AlGaInPクラッド層503、n-GaAsPエッチング停止層504、第2のn-AlGaInPクラッド層518、アンドープGaInP光導波層505、アンドープGaInAsP活性層506、アンドープGaInP光導波層507、第1のp-AlGaInPクラッド層508、第2のp-AlGaInPクラッド層519、p-GaInPヘテロスパイク緩衝層510、p-GaAsPコンタクト層511が順次に積層されている。

【0117】ここで、第1のp-AlGaInPクラッド層508から第2のn-AlGaInPクラッド層518までがリッジストライプ（電流狭窄構造）として形成されている。そして、リッジストライプ（電流狭窄構造）の側面は、p-AlInAsP埋め込み層515、n-AlInAsP埋め込み層516によって埋め込まれている。また、p-GaAsPコンタクト層511上には、p側電極513が形成され、また、基板501の裏面には、n側電極514が形成されている。

【0118】図28の半導体レーザアレイの各半導体レーザ素子は、実施例2と同様の方法、手順によって、GaAsP基板501上に結晶成長を行なうことによって作製される。

【0119】ここで、実施例5の選択成長マスク517は、例えばレーザ発振領域の開口幅が $20\mu\text{m}$ であり、スポットサイズ変換領域の最も広い開口幅が $90\mu\text{m}$ である。更にストライプは $120\mu\text{m}$ ピッチで配置されている。

【0120】実施例5のモノリシックレーザアレイでは、実施例1乃至実施例4と同様に、発振閾値電流が小さく、ビーム形状が真円に近い。また、発振閾値電流が小さいので、素子発熱、熱干渉が少なく、アレイにした場合の特性は良好である。

#### 【0121】実施例6

図30は本発明の実施例6の半導体レーザアレイを示す図である。また、図31は図30の半導体レーザアレイの導波領域の選択成長の際に用いる $\text{SiO}_2$ マスク617の形状を示す図である。なお、図30は作製後の半導体レーザアレイの断面図（図31のB-B'線での断面に対応している図）である。この半導体レーザアレイは、実屈折率導波型半導体レーザアレイとして構成されている。

【0122】すなわち、図30を参照すると、この実施例6の半導体レーザアレイは、 $n\text{-GaAsP}$ 基板601上に、素子部として、 $n\text{-GaAsP}$ バッファ層602、第1の $n\text{-AlGaInP}$ クラッド層603、 $n\text{-GaAsP}$ エッチング停止層604、第2の $n\text{-AlGaInP}$ クラッド層618、アンドープ $\text{GaInP}$ 光導波層605、アンドープ $\text{GaInAsP}$ 活性層606、アンドープ $\text{GaInP}$ 光導波層607、第1の $p\text{-AlGaInP}$ クラッド層608、第2の $p\text{-AlGaInP}$ クラッド層619、 $p\text{-GaInP}$ ヘテロスパイク緩衝層610、 $p\text{-GaAsP}$ コンタクト層611が順次に積層されている。

【0123】ここで、第1の $p\text{-AlGaInP}$ クラッド層608から第2の $n\text{-AlGaInP}$ クラッド層618までがリッジストライプ（電流狭窄構造）として形成されている。そして、リッジストライプ（電流狭窄構造）の側面は、 $p\text{-AlInAsP}$ 埋め込み層615、 $n\text{-AlInAsP}$ 埋め込み層616によって埋め込まれている。また、 $p\text{-GaAsP}$ コンタクト層611上には、 $p$ 側電極613が形成され、また、基板601の裏面には、 $n$ 側電極614が形成されている。

【0124】図30の半導体レーザアレイの各半導体レーザ素子は、実施例3と同様の方法、手順によって、 $\text{GaAsP}$ 基板601上に結晶成長を行なうことによって作製される。

【0125】ここで、実施例6の選択成長マスク617は、開口のピッチが $120\mu\text{m}$ である。また、この実施例6の選択成長マスク617の開口幅は、開口毎に異なる値に設定されており、結晶成長される量子井戸活性層の厚さが異なる。選択成長マスク617の幅が厚いもの程、成長される膜厚が厚く、発振波長は長波となる。

【0126】実施例6のモノリシックレーザアレイは、多波長で発振し、実施例1乃至実施例4と同様に、発振閾値電流が小さく、ビーム形状が真円に近い。また、発振閾値電流が小さいので、素子発熱、熱干渉が少なく、アレイにした場合の特性は良好である。

【0127】なお、上述した各実施例1～6のクラッド層には $\text{AlGaInP}$ 混晶を用いているが、光導波層との大きな屈折率差を得るために、 $\text{AlInP}$ クラッド層を用いても良い。また波長も $650\text{nm}$ 以外ののもであっても良い。

#### 【0128】実施例7

図32は本発明の実施例7としての並列光伝送モジュールを示す図である。図32を参照すると、この光伝送モジュールは、 $\text{Si}$ 基板1上に、前述した本発明の半導体レーザアレイ5と、ヒートシンク2と、半導体レーザアレイ5の各半導体レーザ素子のそれぞれに対応してマイクロレンズを備えたプレーナマイクロレンズアレイ4と、光ファイバアレイ3とが設けられている。

【0129】ここで、光ファイバアレイ3の各ファイバには、発振波長 $650\text{nm}$ のレーザ光源に対しては、 $\text{PMMMA}$ の材料等によるプラスチックオプティカルファイバ（POF）を用いることができる。

【0130】このような構成の並列光伝送モジュールでは、半導体レーザアレイ5からの光は、プレーナマイクロレンズアレイ4によって集光され、光ファイバアレイ3に導かれて、伝送される。

【0131】図32の並列光伝送モジュールを用いた光通信システムあるいは光インターコネクションシステムは、並列光伝送により、高速通信が可能である。また、並列光伝送モジュールに用いられている半導体レーザアレイ5の各半導体レーザ素子は、発振閾値電流、消費電力が小さい。また、ビーム形状が真円に近いことから、出射されるビームを効率良く光ファイバへ導くことができ、結合損失を少なくすることができる。また、発振閾値電流が低いことから、素子発熱、相互熱干渉が小さく、素子特性の変化は少ない。このように、本発明の半導体レーザアレイを光源に用いることにより、低消費電力で信頼性の高い並列光伝送モジュールを得ることができる。

【0132】また、半導体レーザアレイに多波長モノリシックレーザアレイを用いた場合は、回折格子等の分波（合波）装置を用いることで、一本のファイバに波長の異なる複数の光を導く波長多重通信モジュールを得ることができる。このモジュールを用いた場合も、多重通信により、高速通信が可能である。

【0133】また、この実施例7ではアレイを用いた例を示したが、ストライプ毎にへき開された本発明の半導体レーザ素子を用いて、システムを形成しても良い。

#### 【0134】実施例8

図33は本発明の実施例8としての光ピックアップシス

テムを示す図である。より詳細に、図3.3は光ディスクシステムピックアップの概略を示す図であり、図3.3を参照すると、この光ピックアップシステムは、光源としての本発明の半導体レーザ素子11と、回折格子12と、レンズ13と、ビームスプリッタ14と、光検出器15と、トラック追従鏡16と、絞り込みレンズ17と、光ディスク18とを備えている。

【0135】従来、レーザビームはレンズに集光する前にシリンドリカルレンズによりビーム整形を行う必要があったが、実施例8の光ピックアップシステムでは、レーザビーム形状が真円に近いことから、シリンドリカルレンズを介さずにレンズで集光することが可能となる。これによって、部品点数及びコストが低減でき、信頼性の高いシステムを構成することができる。また、発振閾値電流が小さいことで高出力動作が可能であり、更にビームの利用効率が高いことから書き込み光源としても適している。

【0136】また、本発明の半導体レーザアレイ（モノリシックレーザアレイ）をピックアップの光源として用いたマルチビーム光ピックアップでは、上記の効果に加えて、データの記録、読み出し時間を高速化することができる。また、素子間の熱干渉が少ないことから、システムの信頼性も高い。

#### 【0137】実施例9

図3.4は本発明の実施例9としての電子写真システムの書き込み系を示す図である。図3.4を参照すると、この電子写真システムは、光源としての本発明の半導体レーザ素子21と、集光レンズ22と、ポリゴンミラー23と、 $f-\theta$ レンズ24と、シリンドリカルレンズ25と、折り返しミラー26と、感光ドラム27とを有している。

【0138】従来、半導体レーザからの光は、シリンドリカルレンズ22もしくはアパーチャー（図示せず）によってビーム成形を行う必要があったが、実施例9の電子写真システムでは、半導体レーザ素子21のビーム形状が真円に近いことから、アパーチャーまたはシリンドリカルレンズを介さずに、直接、レンズで集光することが可能となる。これにより、部品点数、コストを削減でき、システムの信頼性が向上する。また、本発明の半導体レーザ素子21は、発振閾値電流が低く、ビーム利用効率が高いことから、低消費電力光源として電子写真システムに好適な光源である。

【0139】また、本発明の半導体レーザアレイ（モノリシックレーザアレイ）を光源に用いる場合には、上記の効果に加えて、同時に多数のラインが走査できるので、高速書き込みが可能な電子写真システムを構築できる。

#### 【0140】

【発明の効果】以上に説明したように、請求項1乃至請求項5記載の発明によれば、GaAsとGaPとの間の

格子定数を有する  $(Al_xGa_{1-x})_{1-y}In_yAs_zP_{1-z}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0.5 < y \leq 1$ ,  $0 \leq z \leq 1$ ) クラッド層と、共振器端面に対して垂直方向に伸びるストライプ状またはテーパーストライプ状の  $Ga_{1-y}In_yAs_zP_{1-z}$  ( $0 < y \leq 1$ ,  $0 \leq z < 1$ ) 活性層と、光導波層とを有する端面発光型半導体レーザ素子であって、共振器端面部にスポットサイズ変換領域が設けられているので、発振閾値電流が小さく、高い特性温度をもち、ビーム品質が良く、放射ビーム形状が真円に近い半導体レーザ素子を提供することができる。

【0141】特に、請求項2記載の発明によれば、請求項1記載の半導体レーザ素子において、前記光導波層は、活性層の材料よりも禁則帯幅の広い  $Ga_{1-y}In_yAs_zP_{1-z}$  ( $0 < y \leq 1$ ,  $0 \leq z < 1$ ) 混晶半導体で形成されているので、発振閾値電流をさらに低減することができる。

【0142】また、請求項3記載の発明によれば、請求項1または請求項2記載の半導体レーザ素子において、スポットサイズ変換領域は、少なくとも光導波層の厚さをストライプ状発振領域から共振器端面部に向かって薄くすることで形成されているので、スポットサイズ変換効率の高い半導体レーザ素子が容易に得られる。

【0143】また、請求項4記載の発明によれば、請求項1乃至請求項3のいずれか一項に記載の半導体レーザ素子において、活性層は、単一量子井戸構造または多重量子井戸構造であり、さらに、スポットサイズ変換領域上の一部の半導体コンタクト層および電極が除去されているので、素子の動作電流を低減することができる。

【0144】また、請求項5記載の発明によれば、請求項1乃至請求項4のいずれか一項に記載の半導体レーザ素子において、活性層は、スポットサイズ変換領域以外では自然超格子構造として形成され、スポットサイズ変換領域では自然超格子構造が選択的に無秩序化されたものとなっており、さらに、スポットサイズ変換領域上の一部の半導体コンタクト層および電極が除去されているので、素子の動作電流を低減することができる。

【0145】また、請求項6記載の発明によれば、GaAsとGaPとの間の格子定数を有する  $(Al_xGa_{1-x})_{1-y}In_yAs_zP_{1-z}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0.5 < y \leq 1$ ,  $0 \leq z \leq 1$ ) クラッド層と、共振器端面に対して垂直方向に伸びるストライプ状またはテーパーストライプ状の  $Ga_{1-y}In_yAs_zP_{1-z}$  ( $0 < y \leq 1$ ,  $0 \leq z < 1$ ) 活性層と、光導波層とを有し、共振器端面部にスポットサイズ変換領域が設けられている端面発光型半導体レーザ素子の作製方法であって、誘電体マスクを用いた選択成長法によって、前記クラッド層、光導波層および活性層からなる導波路構造の結晶成長を行なうので、半導体レーザ素子を簡便に作製することができる。

【0146】また、請求項7記載の発明によれば、請求



項 1 乃至請求項 5 のいずれか一項に記載の半導体レーザ素子を複数個有し、複数個の半導体レーザ素子がモノリシックに形成されているので、発振閾値電流が低く、放射ビーム形状が真円に近い赤色モノリシックレーザアレイを提供することができる。

【0147】また、請求項 8 記載の発明によれば、請求項 1 乃至請求項 5 のいずれか一項に記載の半導体レーザ素子、または、請求項 7 記載の半導体レーザアレイが光源として用いられるので、消費電力が小さく、信頼性の高い光通信システムを提供することができる。

【0148】また、請求項 9 記載の発明によれば、請求項 1 乃至請求項 5 のいずれか一項に記載の半導体レーザ素子、または、請求項 7 記載の半導体レーザアレイが光源として用いられるので、消費電力が小さく、信頼性の高い光通信システムを提供することができる。

【0149】また、請求項 10 記載の発明によれば、請求項 1 乃至請求項 5 のいずれか一項に記載の半導体レーザ素子、または、請求項 7 記載の半導体レーザアレイが光源として用いられるので、消費電力が小さく、信頼性の高い光ピックアップシステムを提供することができる。

【0150】また、請求項 11 記載の発明によれば、請求項 1 乃至請求項 5 のいずれか一項に記載の半導体レーザ素子、または、請求項 7 記載の半導体レーザアレイが光源として用いられるので、消費電力が小さく、信頼性の高い電子写真システムを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】第 2 の従来技術の半導体レーザ素子を示す図である。

【図 2】第 2 の従来技術の半導体レーザ素子を示す図である。

【図 3】第 2 の従来技術の半導体レーザ素子を示す図である。

【図 4】図 1 乃至図 3 の半導体レーザ素子の作製方法を説明するための図である。

【図 5】図 1 乃至図 3 の半導体レーザ素子の作製方法を説明するための図である。

【図 6】図 1 乃至図 3 の半導体レーザ素子の作製方法を説明するための図である。

【図 7】GaAs 基板に格子整合する AlGaInP (GaAs からの格子不整合度  $\epsilon = 0\%$ ) と、GaAs と GaP とのちょうど中間の格子定数を持つ AlGaInP (GaAs からの格子不整合度  $\epsilon = -1.7\%$ ) の AlInP 組成の変化に対する屈折率の見積もり値を示す図である。

【図 8】GaAs の格子定数を持った素子 ( $\epsilon = 0\%$ ) と、GaAs と GaP との中間の格子定数を持った素子 ( $\epsilon = -1.7\%$ ) に関して、AlInP をクラッド層、AlInP 組成 0.5 の AlGaInP を光導波層として、発振波長 650 nm を有する厚さ 15 nm の活

性層を持つ構造の光閉じ込め係数を見積もった図である。

【図 9】GaAs と GaP のちょうど中間の格子定数 (GaAs からの格子不整合度  $\epsilon = -1.7\%$ ) を有する素子について、AlInP をクラッド層、AlInP 組成 0.5 の AlGaInP を光導波層とした、波長 650 nm の厚さ 15 nm の活性層を持つ構造 ( $\epsilon = -1.7\%$ ) と、GaAs と GaP のちょうど中間の格子定数 (GaAs からの格子不整合度  $\epsilon = -1.7\%$ ) を有する素子について、AlInP をクラッド層、GaInP を光導波層とした、波長 650 nm の厚さ 15 nm の活性層を持つ構造 ( $\epsilon = -1.7\%$ ) と、GaAs 基板上 ( $\epsilon = 0\%$ ) で、AlInP をクラッド層、AlInP 組成 0.5 の AlGaInP を光導波層とした構造 ( $\epsilon = 0\%$ ) とについて、活性層への光閉じ込め係数を見積もった結果を示す図である。

【図 10】本発明の実施例 1 の半導体レーザ素子を示す図である。

【図 11】本発明の実施例 1 の半導体レーザ素子を示す図である。

【図 12】本発明の実施例 1 の半導体レーザ素子を示す図である。

【図 13】図 10 乃至図 12 の半導体レーザ素子の作製工程を説明するための図である。

【図 14】図 10 乃至図 12 の半導体レーザ素子の作製工程を説明するための図である。

【図 15】図 10 乃至図 12 の半導体レーザ素子の作製工程を説明するための図である。

【図 16】本発明の実施例 2 の半導体レーザ素子を示す図である。

【図 17】本発明の実施例 2 の半導体レーザ素子を示す図である。

【図 18】本発明の実施例 2 の半導体レーザ素子を示す図である。

【図 19】図 10 乃至図 12 の半導体レーザ素子の作製工程を説明するための図である。

【図 20】図 10 乃至図 12 の半導体レーザ素子の作製工程を説明するための図である。

【図 21】図 10 乃至図 12 の半導体レーザ素子の作製工程を説明するための図である。

【図 22】本発明の実施例 3 の半導体レーザ素子を示す図である。

【図 23】本発明の実施例 3 の半導体レーザ素子を示す図である。

【図 24】本発明の実施例 3 の半導体レーザ素子を示す図である。

【図 25】本発明の実施例 4 の半導体レーザ素子を示す図である。

【図 26】本発明の実施例 4 の半導体レーザ素子を示す図である。

【図27】本発明の実施例4の半導体レーザ素子を示す図である。

【図28】本発明の実施例5の半導体レーザアレイを示す図である。

【図29】図28の半導体レーザアレイの導波領域の選択成長の際に用いるSiO<sub>2</sub>マスクの形状を示す図である。

【図30】本発明の実施例6の半導体レーザアレイを示す図である。

【図31】図30の半導体レーザアレイの導波領域の選択成長の際に用いるSiO<sub>2</sub>マスクの形状を示す図である。

【図32】本発明の実施例7としての並列光伝送モジュールを示す図である。

【図33】本発明の実施例8としての光ピックアップシステムを示す図である。

【図34】本発明の実施例9としての電子写真システムの書き込み系を示す図である。

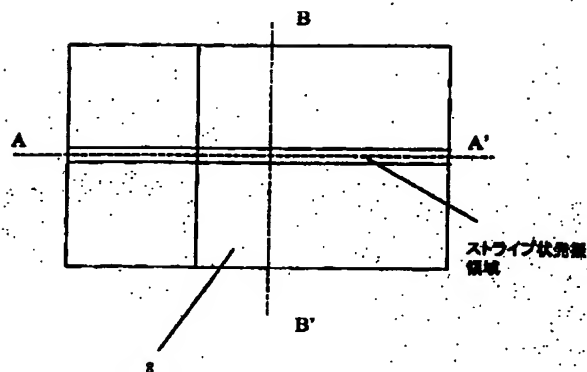
【符号の説明】

101	n-GaAsP基板	216	n-AlInP埋め込み層
102	n-GaAsPバッファ層	213	p側オーミック電極
103	第1のn-AlGaInPクラッド層	214	n側オーミック電極
104	n-GaAsPエッチング停止層	220	SiO <sub>2</sub> マスク
118	第2のn-AlGaInPクラッド層	301	n-GaAs基板
105	アンドープAlGaInP光導波層	317	GaAsP格子緩和層
106	アンドープGaInAsP活性層	302	n-GaAsPバッファ層
107	アンドープAlGaInP光導波層	303	第1のn-AlGaInPクラッド層
108	第1のp-AlGaInPクラッド層	304	n-GaAsPエッチング停止層
109	p-GaAsPエッチング停止層	318	第2のn-AlGaInPクラッド層
119	第2のp-AlGaInPクラッド層	305	アンドープGaInP光導波層
110	p-GaInPヘテロスパイク緩衝層	306	アンドープGaInAsP量子井戸活性層
111	p-GaAsPコンタクト層	307	アンドープGaInP光導波層
112	SiO <sub>2</sub> 絶縁層	308	第1のp-AlGaInPクラッド層
113	p側オーミック電極	319	第2のp-AlGaInPクラッド層
114	n側オーミック電極	310	p-GaInPヘテロスパイク緩衝層
117	SiO <sub>2</sub> 選択成長マスク	311	p-GaAsPコンタクト層
120	レジストマスク	315	p-AlInP埋め込み層
201	n-GaAsP基板	316	n-AlInP埋め込み層
202	n-GaAsPバッファ層	313	p側電極
203	第1のn-AlGaInPクラッド層	314	n側電極
204	n-GaAsPエッチング停止層	401	n-GaAsP基板
218	第2のn-AlGaInPクラッド層	402	n-GaAsPバッファ層
205	アンドープGaInP光導波層	403	第1のn-AlGaInAsPクラッド層
206	アンドープGaInAsP活性層	404	n-GaAsPエッチング停止層
207	アンドープGaInP光導波層	418	第2のn-AlGaInAsPクラッド層
208	第1のp-AlGaInPクラッド層	405	アンドープGaInP光導波層
219	第2のp-AlGaInPクラッド層	406	アンドープGaInAsP活性層
210	p-GaInPヘテロスパイク緩衝層	407	アンドープGaInP光導波層
211	p-GaAsPコンタクト層	408	第1のp-AlGaInAsPクラッド層
215	p-AlInP埋め込み層	419	第2のp-AlGaInAsPクラッド層
		410	p-GaInPヘテロスパイク緩衝層
		411	p-GaAsPコンタクト層
		415	p-AlInP埋め込み層
		416	n-AlInP埋め込み層
		413	p側電極
		414	n側電極
		501	n-GaAsP基板
		502	n-GaAsPバッファ層
		503	第1のn-AlGaInPクラッド層
		504	n-GaAsPエッチング停止層
		518	第2のn-AlGaInPクラッド層
		505	アンドープGaInP光導波層
		506	アンドープGaInAsP活性層
		507	アンドープGaInP光導波層

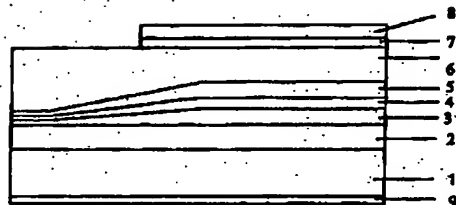
508 第1のp-AlGaInPクラッド層  
 519 第2のp-AlGaInPクラッド層  
 510 p-GaInPヘテロスパイク緩衝層  
 511 p-GaAsPコンタクト層  
 513 p側電極  
 514 n側電極  
 515 p-AlInAsP埋め込み層  
 516 n-AlInAsP埋め込み層  
 517 選択成長マスク  
 601 n-GaAsP基板  
 602 n-GaAsPバッファ層  
 603 第1のn-AlGaInPクラッド層  
 604 n-GaAsPエッチング停止層  
 618 第2のn-AlGaInPクラッド層  
 605 アンダーp-GaInP光導波層  
 606 アンダーp-GaInAsP活性層  
 607 アンダーp-GaInP光導波層  
 608 第1のp-AlGaInPクラッド層  
 619 第2のp-AlGaInPクラッド層  
 610 p-GaInPヘテロスパイク緩衝層  
 611 p-GaAsPコンタクト層  
 613 p側電極  
 614 n側電極

615 p-AlInAsP埋め込み層  
 616 n-AlInAsP埋め込み層  
 617 選択成長マスク  
 1 Si基板  
 5 半導体レーザアレイ  
 2 ヒートシンク  
 4 ブレーナ-マイクロレンズアレイ  
 3 光ファイバアレイ  
 11 半導体レーザ素子  
 12 回折格子  
 13 レンズ  
 14 ビームスプリッタ  
 15 光検出器  
 16 トラック追従鏡  
 17 絞り込みレンズ  
 18 光ディスク  
 21 半導体レーザ素子  
 22 集光レンズ  
 23 ポリゴンミラー  
 24 f-θレンズ  
 25 シリンドリカルレンズ  
 26 折り返しミラー  
 27 感光ドラム

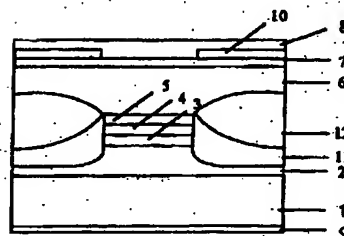
【図1】



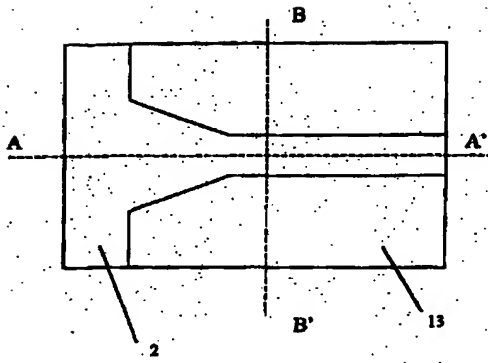
【図2】



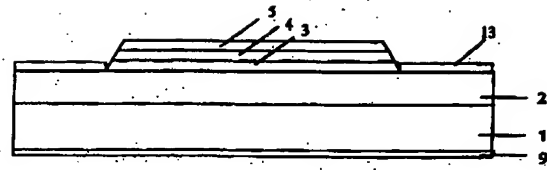
【図3】



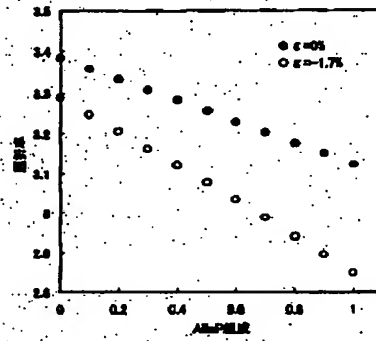
【図4】



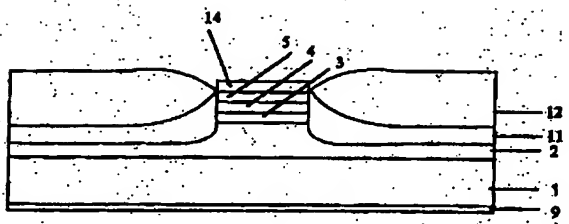
【図5】



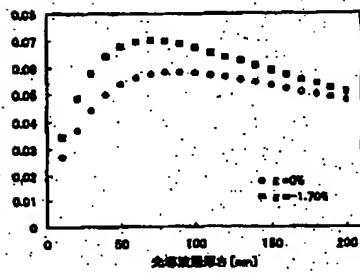
【図7】



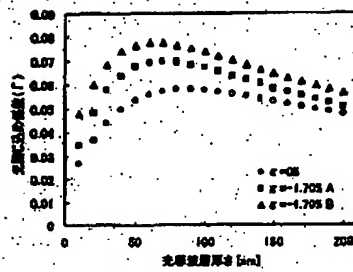
【図6】



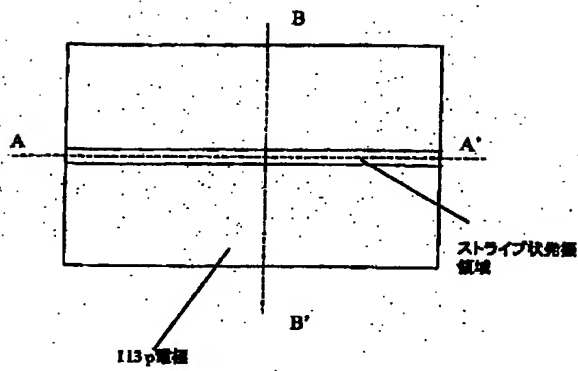
【図8】



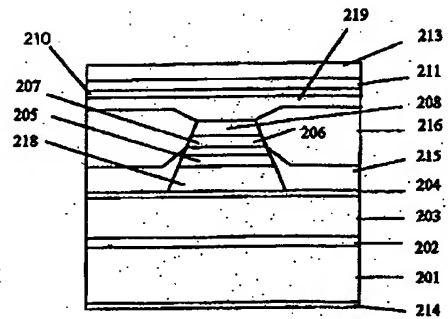
【図9】



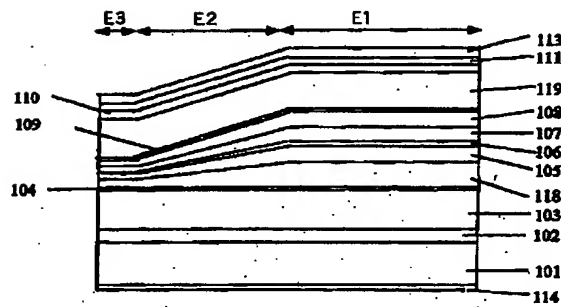
【図10】



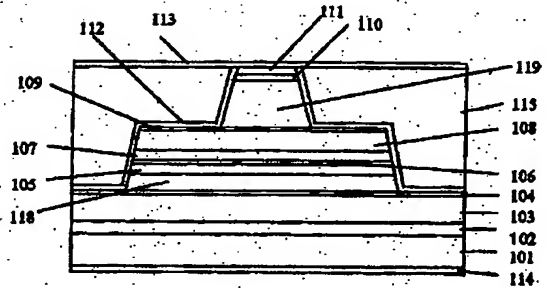
【図18】



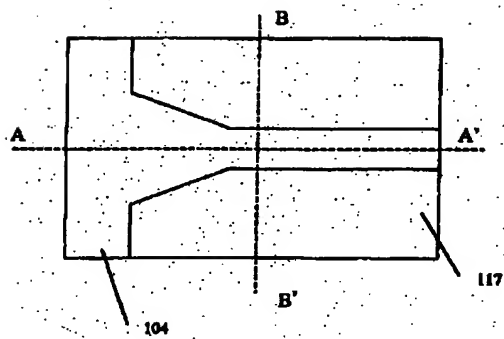
【図11】



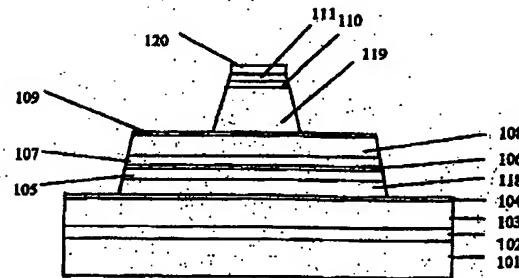
【図12】



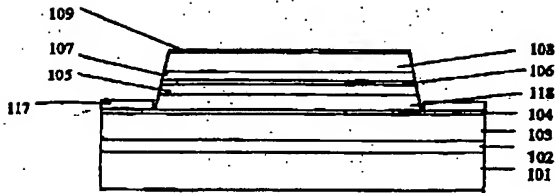
【図13】



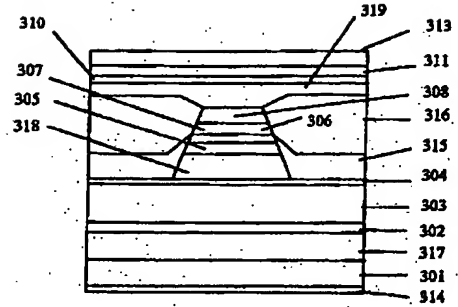
【図15】



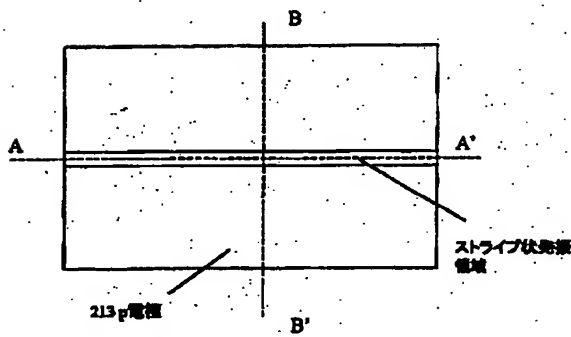
【図14】



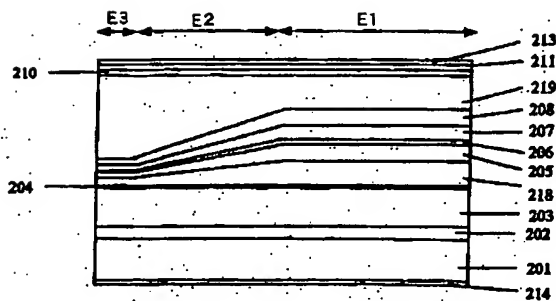
【図24】



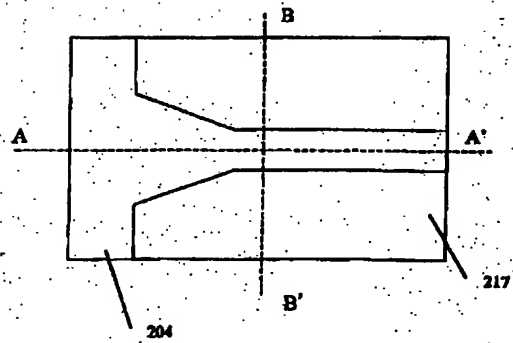
【図16】



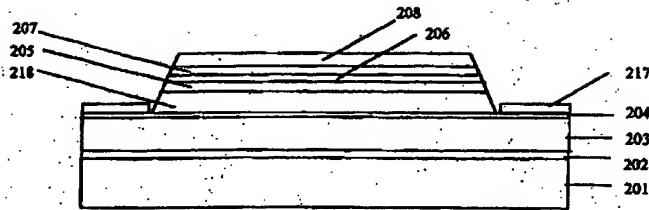
【図17】



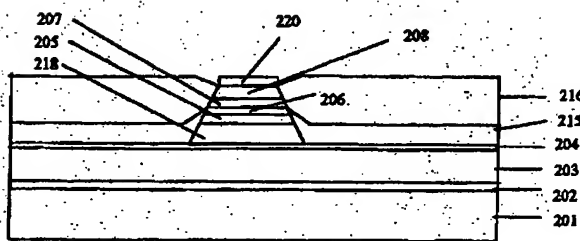
【図19】



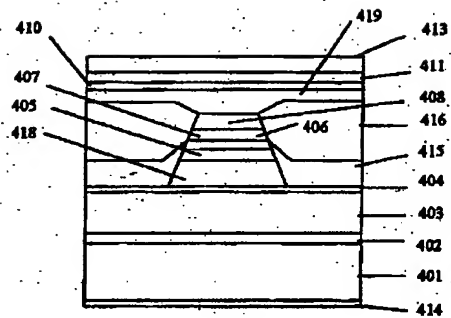
【図 20】



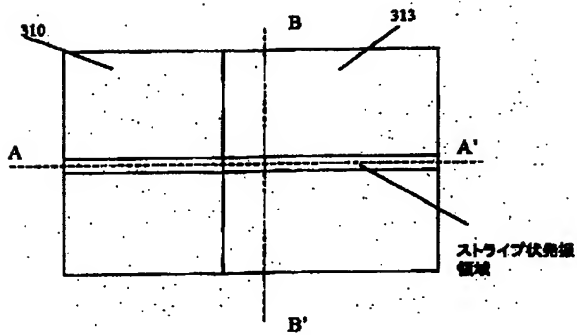
【図 21】



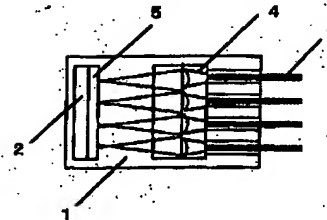
【図 27】



【図 22】

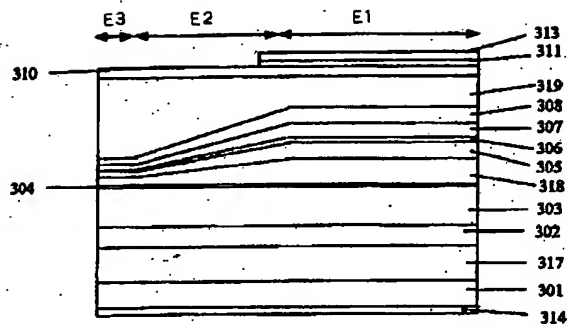


【図 32】

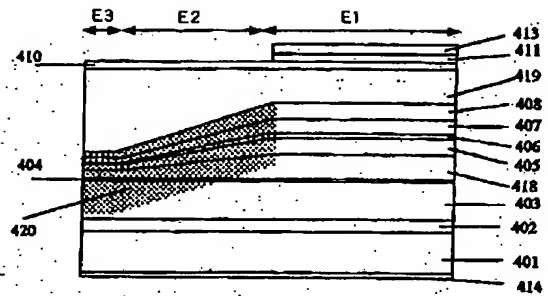




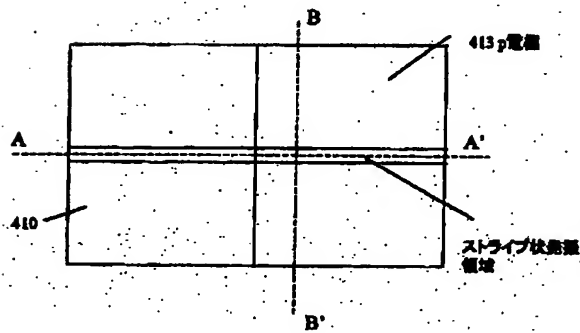
【図 23】



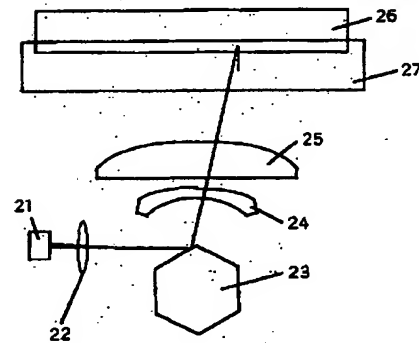
【図 26】



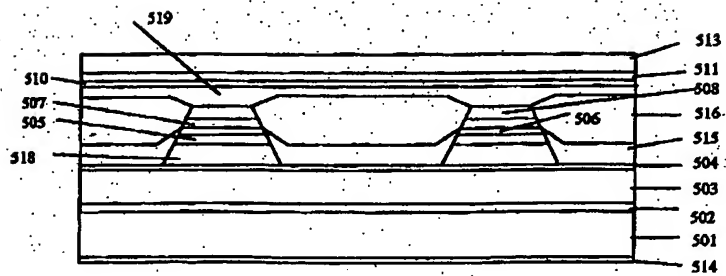
【図 25】



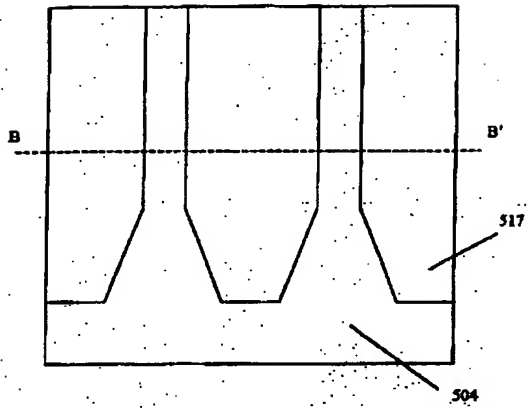
【図 34】



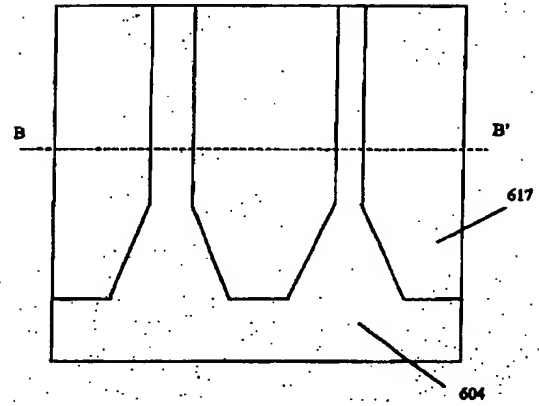
【図 28】



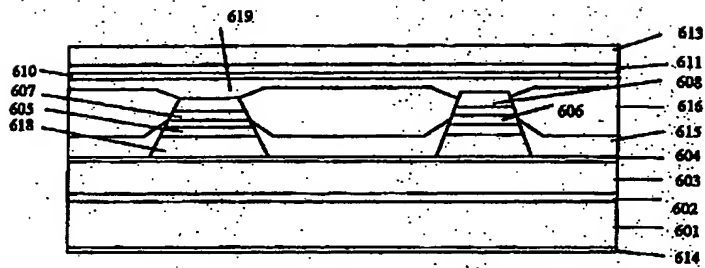
【図 29】



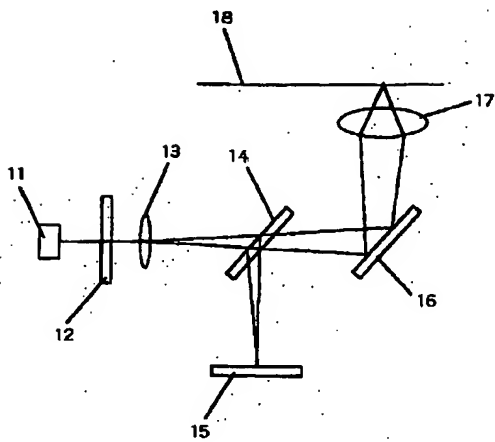
【図 31】



【図 30】



【図 33】



フロントページの続き

Fターム(参考) 5D119 AA04 AA43 BA01 FA05 FA17  
NA04  
5F073 AA13 AA53 AA73 AA74 AB04  
AB27 AB28 AB29 BA01 BA04  
CA20 CB02 DA05 EA18 EA23  
FA13